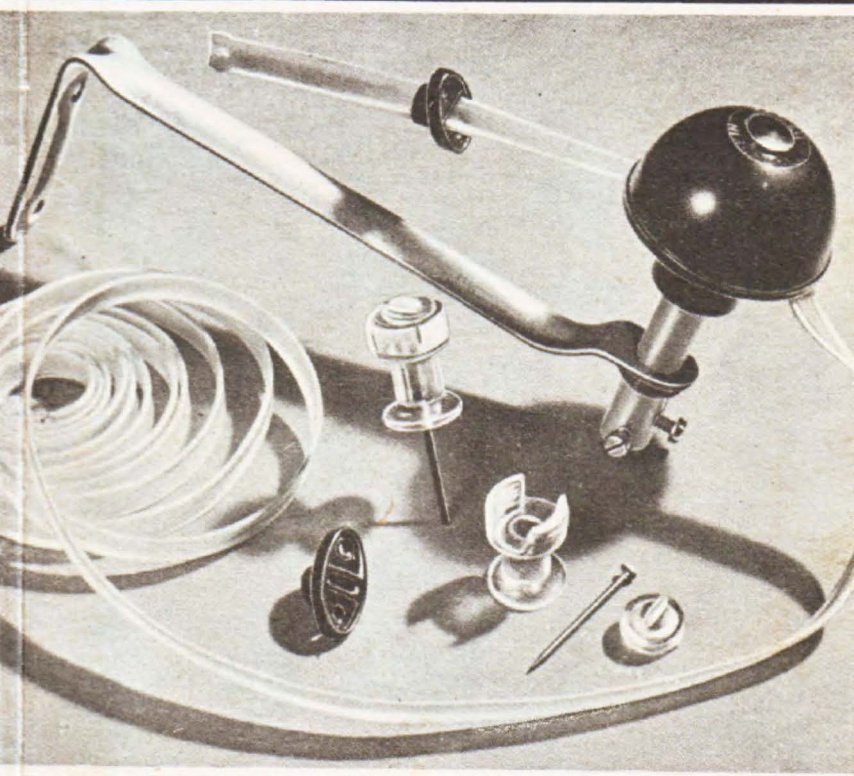
radio
PRAKTIKER
bücherei

HERBERT G. MENDE

Antennen für Rundfunk- und UKW-Empfang



6

FRANZIS-VERLAG · MÜNCHEN

radio PRAKTIKER bücherei

Um dem neu entstandenen Bedürfnis zu dienen, über wichtige und aktuelle Teilgebiete der praktischen Radiotechnik durch nicht zu umfangreiche, in sich abgeschlossene und vor allem billige Bändchen unterrichtet zu werden, wird die neue **Radio-Praktiker-Bücherei** herausgegeben. Leicht verständlich, aber technisch zuverlässig, inhaltreich und doch billig sind alle Bände dieser neuen radiotechnischen Bücherei. Namhafte Autoren sind ihre Mitarbeiter, die sich diesem neuen Vorhaben in der richtigen Erkenntnis zur Verfügung stellten, daß es heute mehr denn je darauf ankommt, jedem einzelnen Interessenten, vor allem auch dem Lernenden, dem Schüler, Studenten und Lehrling, den Aufbau einer kleinen radiotechnischen Bibliothek zu ermöglichen. Deshalb wurden Umfang, Ausstattung und Preis so aufeinander abgestimmt, daß für den aufzuwendenden niedrigen Betrag ein Optimum an Wissensstoff und Unterlagen geboten werden kann.

Die **Radio-Praktiker-Bücherei** wendet sich in gleicher Weise an den Fachmann und an den Liebhaber. Dem ersteren will sie oft benötigte technische Unterlagen in bequemer Form zur Verfügung stellen, den letzteren will sie in die heute besonders interessierenden Sondergebiete einführen, ihn zu einem tieferen Studium anregen, ihm ein steter Freund und Begleiter sein. So wird die neue Bücherei von Rundfunktechnikern und Mechanikern, von den Mitarbeitern der Laboratorien und Werkstätten in Industrie und Handel, von Radioliebhabern aller Sparten, Schülern, Lehrlingen und Studenten gern benutzt. Für jedes aktuelle Thema eine Nummer, und jede Nummer kostet nur wenig mehr als eine Mark. So ist die Radio-Praktiker-Bücherei eine Fundgrube radiotechnischen Wissens, jedem erschwinglich.

Ausführliches Verzeichnis am Schluß des Heftes oder gratis durch den Buchhandel

Jede Nr. 64 Seiten

mit vielen Bildern

Antennen für Rundfunk- und UKW-Empfang

Von

HERBERT G. MENDE

Beratender Ingenieur

Mit 30 Bildern und 7 Tabellen

4. und 5. Auflage

FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN

Verlag der G. Franz'schen Buchdruckerei G. Emil Mayer

Heft 6 der RADIO-PRAKTIKER-BÜCHEREI

Das Umschlagbild zeigt
Zubehör für den Bau von UKW-Antennen
(A. Kathrein, Rosenheim, Obb.)

1952

Druck: G. Franz'sche Buchdruckerei G. Emil Mayer, München 2, Luisenstraße 17

Vorwort

Wenn man bedenkt, daß die Antenne doch eigentlich den wichtigsten Teil jeder drahtlosen Übertragung auf große Entfernungen darstellt, erscheint ihre stiefmütterliche Behandlung in der Praxis besonders der Empfangstechnik verwunderlich. Man findet nur wenige Funktechniker, die wirklich über die wichtigsten Zusammenhänge ausreichend informiert sind. Das mag daran liegen, daß der leichtverständliche Teil der umfangreichen Literatur dieses Gebietes oft recht oberflächlich ist, während diejenigen Veröffentlichungen, aus denen man etwas lernen könnte, für viele durch die zur Anwendung kommende höhere Mathematik unbezwingbar sind. Andererseits lehrt die Erfahrung, daß jeder, der sich erstmalig der Radiotechnik zuwendet, seine ersten praktischen Erfahrungen stets beim Empfängerbau sammelt und sich erst verhältnismäßig spät — wenn überhaupt — den Antennenproblemen widmet.

Die überwiegende Mehrzahl aller an Antennenfragen Interessierten kann man daher schon in der Fachsprache ansprechen. Infolgedessen wurde im vorliegenden Bändchen auf eine rein laienmäßige Darstellung der Antennen, ihrer Bauteile und Montage verzichtet, um dafür das Hauptgewicht auf die wissenswerten Zusammenhänge zwischen äußerer Form und elektrischem Verhalten einer Antenne legen zu können. Im Interesse leichter Verständlichkeit wurden dabei wissenschaftliche Erörterungen und höhere Mathematik vermieden.

Bielefeld — Herbert G. Mende

Inhalt

I. Über den Sinn der Antenne 5
II. Übersicht über die Antennenformen 6
III. Theoretische Überlegungen 10
a) Strahlungseigenschaften 10
b) Schwingkreiseigenschaften 11
c) Strahlungswiderstand 12
d) Eigenwelle 13
e) Wirksame Antennenhöhe 15
f) Dämpfung und Wellenwiderstand 15
g) Energiebilanz und Anpassung bei aperiodischen Antennen 17
h) Anpassung abgestimmter Antennen 19
IV. Gebräuchliche Ausführungsformen von Antennen... 23
a) Aperiodische Antennen für Lang-, Mittel- und Kurzwellen 23
b) Rahmenantennen 36
c) Abgestimmte Kurzwellenantennen (Dipole) 36
d) UKW-Antennen und Breitbandantennen 37
e) Dezimeter-Antennen 38
f) Richtantennen 39
g) Allwellen-Antennen 41
h) Kraftwagen-Antennen 43
i) Zimmer- und Behelfsantennen 45
k) Künstliche Antennen 45
V. Wahl des Aufstellungsortes 46
VI. Praktischer Antennenbau 49
a) Isolation und anderes 49
b) Ableitung 50
c) Bestimmungen, Vorschriften 51
d) Erdung 54
e) Formeln für den praktischen Antennenbau 55
f) Gemeinschaftsantennenanlagen 56
VII. Störbeeinflussung von Antennen und deren Vermeidung 59
VIII. Literaturverzeichnis 64

I. Über den Sinn der Antenne

Das Wort *Antenne* bedeutet ursprünglich im Lateinischen so viel wie Rahe oder Segelstange. Die Biologen verwenden es bekanntlich als Fachausdruck für die gegliederten Fühler der Insekten. Beide Bedeutungen haben für die Antenne der Funktechnik durchaus einen gewissen Sinn, so daß man nicht unbedingt auf das Wort „Luftleiter" zurückgreifen muß, um verständlich zu bleiben. Wir wollen im Folgenden — dem internationalen Sprachgebrauch entsprechend — immer nur von der Antenne sprechen.

Der erste berühmte Mann, der eine Art Antenne benutzte — ohne allerdings etwas von ihrer Bedeutung für die spätere Funktechnik zu ahnen — war *Benjamin Franklin,* als er im Jahre 1752 aus einem, an einem Drachen in die Höhe geführten Draht Funken zog und so atmosphärische Elektrizität einfing. Rund 135 Jahre später experimentierte *Heinrich Hertz* mit Dezimeterwellen und benutzte Dipole mit und ohne Reflektor. Aber auch er ahnte noch nichts vom Rundfunk. Erst die spätere, besonders durch *Marconi* geförderte drahtlose Telegrafie benutzte bewußt Antennen auf der Sende- und Empfangsseite, die allerdings keinerlei äußere Ähnlichkeit mit dem Hertz'schen Dipol hatten, weil man mit kilometerlangen Wellen arbeitete. Im Laufe der Jahrzehnte erschloß man immer kürzere Wellen, deren Längen bereits in die Größenordnung der verwendeten Antennenabmessungen hineinfielen und erarbeitete parallel dazu die Theorie der Antenne, während man vorher auf Experimente angewiesen war.

Von *Hertz* angefangen aber bis heute und weiter bis in alle Zukunft ist die Antenne das *erste und wichtigste wirklich hochfrequenztechnische Gebilde,* das den Übergang von den drahtgebundenen elektrotechnischen Einrichtungen zur drahtlosen Fernwirkung bzw. zum „Äther" und zurück vermittelt.

Reichweite und erforderlicher apparativer Aufwand auf der Sende- wie Empfangsseite hängen zum Schluß nur von der günstigsten Wahl der Antennenart und von deren Eigenschaften ab. Auf der Sendeseite hat man das von jeher be-

rücksichtigt, auf der Empfangsseite jedoch nur bei der kommerziellen Empfangstechnik, während man sich im Rundfunkgeschäft und beim Hörerpublikum nur wenig Gedanken um die optimale Antennenkonstruktion machte und sich vielmehr damit begnügte, die Antenne bestenfalls möglichst lang und hoch aufzuhängen. Erst die erneute Beschäftigung mit kurzen und ultrakurzen Wellen erweckt die so stiefmütterlich behandelte Empfangsantenne wieder zu einem neuen Leben, für das die folgenden Abschnitte Wegbereiter sein wollen.

II. Übersicht über die Antennenformen

Sehen wir uns einen üblichen Schwingungskreis an **(Bild 1)**, so wissen wir, daß sich der Schwingungsvorgang innerhalb seiner räumlichen Abmessungen abspielt. Außerhalb des Kreises werden wir nur wenig von der Schwingung wahrnehmen. Der Kondensator hat nur ein sehr kleines Streufeld, und die Verbindungsdrähte zwischen Spule und Kon-

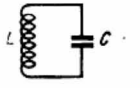


Bild 1. Der geschlossene Schwingungskreis

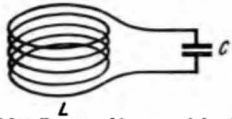


Bild 2. Der geschlossene Schwingungskreis mit großflächiger Spule (Rahmenantenne)

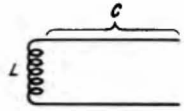


Bild 3. Die Leitung als geöffneter Schwingungskreis

densator werden immer sehr kurz und ihr Abstand voneinander wird immer sehr klein gegen die Betriebswellenlänge sein, so daß sie praktisch nicht strahlen. Lediglich die Spule hat je nach ihrer Konstruktion ein mehr oder weniger nach außen hin wahrnehmbares Streufeld. Dieses ist klein, wenn die Spulenwindungen z. B. in einem Topfkern aus Hf-Eisen untergebracht sind, und groß, wenn es sich um eine Luftspule handelt. Ändert man jetzt den Formfaktor (Verhältnis von Länge zu Durchmesser) der Spule dahingehend, daß sich bei gleichbleibender Induktivität eine möglichst große Fläche ergibt, so erhöht sich ihr Streufeld beträchtlich. Damit kann sie bereits in nennenswertem Maße die Frequenz, auf die

der Kreis abgestimmt ist, abstrahlen oder, was dasselbe ist (wie wir später sehen werden), aufnehmen. Die Spule ist so zur Rahmenantenne geworden **(Bild 2).**

Eine andere Möglichkeit, die Abstrahlungs- und Aufnahmefähigkeit des Kreises zu erhöhen, ist die, ihn zu *öffnen.* Grundsätzlich ist es gleichgültig, an welcher Stelle dies geschieht; wir wollen aber aus Gründen der Anschaulichkeit die Trennstelle in den Kondensator verlegen. Indem wir die Kondensatorplatten auseinanderziehen, erhalten wir einen sogenannten *offenen Schwingungskreis.* Denken wir uns gleichzeitig die Kondensatorplatten immer mehr in die Länge gestreckt, bis sie schließlich nichts anderes als verlängernde Drahtstücke der Verbindungsleitungen darstellen, so erhalten wir mit Bild 3 das typische Schema einer Leitung, bei der allerdings (abweichend von sonst üblichen Darstellungen) die Leitungsinduktivität an einem Ende konzentriert ist, während sich die Leitungskapazitäten über die ganze Leitung verteilen. In unserem Falle ist das jedoch belanglos, weil wir an diesem Beispiel nur erkennen wollen, warum man eine Antenne auch als Leitung auffassen und nach der Leitungstheorie berechnen kann.

Bild 4. Der offene Schwingungskreis in Antennenform

Bild 5. Dipol

Bild 6. Geerdete Vertikalantenne

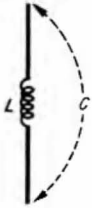


Bild 4

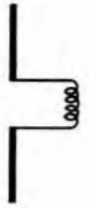


Bild 5

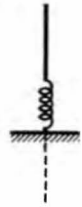


Bild 6

Öffnen wir jetzt die Leitung weiter, bis sie das Aussehen des Bildes 4 erhält! Jetzt ähnelt die Anordnung schon sehr einer Antennenspule mit Antenne und Erde. In der Spule des Bildes 4 ist aber eigentlich nur die Induktivität des geöffneten Kreises, also der dadurch erhaltenen Antenne, enthalten. Wir machen jedoch keinen allzu großen Fehler, wenn wir aus Gründen der Anschaulichkeit die gezeichnete Spule

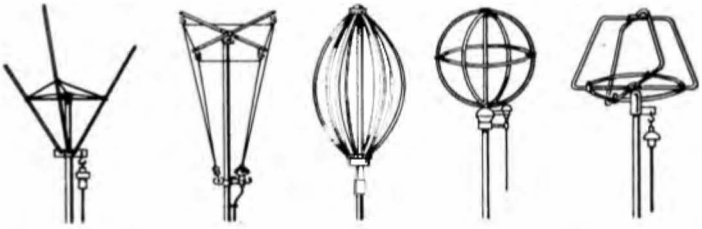


Bild 7. Mastantennen mit Spitzenkapazität

als Antennen(Kopplungs-)spule des Empfängers oder Senders annehmen und uns (wie schon die Kapazität) auch die Antenneninduktivität längs der Drähte verteilt denken.

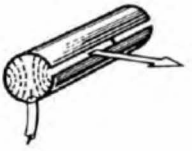
Das räumliche Absetzen der Kopplungsspule **(Bild 5)** gibt uns dann sofort das Bild des bekannten Hertz'schen Dipols. An dieser Stelle unserer Betrachtung müssen wir uns merken, daß sich jede Antennenform auf einen Dipol oder (bei den sogenannten aperiodischen Antennen) auf eine Aneinanderreihung vieler solcher Dipole zurückführen läßt. So ergibt sich z. B. die allbekannte Vertikalantenne (selbstschwingender Mast auf der Senderseite, Stabantenne auf der Empfangsseite), wenn der untere Dipolstab durch die als gut leitend gedachte Erde ersetzt wird **(Bild 6)**. Wird in dieser Anordnung die Antennenkapazität an der Spitze des Antennendrahtes konzentriert, so ergeben sich ebenfalls bekannte Formen, an die **Bild 7** erinnern möge. Ist jedoch der verbleibende Antennendraht sehr (viele Dipollängen) lang, so pflegt man ihn zu knicken und für den größten Teil seiner Länge mehr oder weniger horizontal aufzuhängen. Das ergibt das Bild der klassischen Hochantenne, deren Hauptformen die L- und die T-Antennen bilden, je nachdem, an welcher Stelle der vertikale Teil (die Ableitung) den horizontalen Teil trifft.

Doch zurück zum Dipol, dem Vater aller Antennen! Die Antennentheorie besagt [1][1]), daß jedes Gebilde Strahlungs- also Antenneneigenschaften aufweist, bei dem elektrisches

[1]) Siehe VIII, Literaturverzeichnis.

und magnetisches Feld aufeinander senkrecht stehen. Das ist aber nicht nur der Fall, wenn sich ein metallischer Leiter (Dipol) in einem Dielektrikum (z. B. Luft) befindet, sondern auch dann, wenn eine metallische Fläche durch ein Dielektrikum, z. B. in Gestalt einer schlitzförmigen Unterbrechung der Metallfläche, aufgeteilt wird. Daraus ergibt sich die noch verhältnismäßig wenig bekannte *Schlitzantenne* (Bild 8), auf die wir im Abschnitt über Dezimeterantennen wieder zurückkommen werden.

Bild 8. Schlitzantenne



Nun kann aber ein Dielektrikum auch ohne umgebende Metallfläche — und zwar recht gut — strahlen bzw. Strahlung aufnehmen. Auf diesem Effekt beruht die Entwicklung der dielektrischen Antennen, die im letzten Jahrzehnt bereits vielfach praktisch erprobt und verwendet wurden und mit denen wir auch in Zukunft — wenn nicht alles täuscht — noch viel zu tun haben werden. Auch auf sie wird in einem späteren Abschnitt noch kurz eingegangen.

An diesem Querschnitt durch die Entwicklung der verschiedenen Antennenformen aus dem altvertrauten Schwingungskreis haben wir gesehen, wie eng die äußerlich so verschiedenen Antennen dem Wesen nach zusammenhängen, und warum sich ihre Berechnung immer auf die eines Dipols, einer Leitung oder eines Schwingkreises zurückführen läßt, wenn auch die für die praktische Anwendung wichtigen Größen von Fall zu Fall verschieden sind. Tatsächlich ergibt sich die Vielfalt der in der Praxis vorkommenden Ausführungen nur aus den verschiedenen Anforderungen (Sendung, Empfang, Wellenbereich oder Eigenfrequenz, Strahlungscharakteristik usw.), die seitens der weitverzweigten Anwendungen der Funktechnik an die Antenne gestellt werden.

III. Theoretische Überlegungen

Es ist hier weder die Gelegenheit noch der Platz für eine umfassende Darstellung der Antennen-Theorien. Da die Probleme der Antennenkonstruktion eng mit denen der Strahlung und Wellenausbreitung zusammenhängen und schon bei der einfachsten Antennenform die Lösung partieller Differentialgleichungen im dreidimensionalen Raum erforderlich machen, wollen wir uns auf die wenigen Zusammenhänge beschränken, die auch für den Praktiker interessant sind. Wichtig genug sind derartige Überlegungen jedenfalls, wenn man berücksichtigt, daß das Signal-/Störverhältnis, aber auch das Verhältnis von Signal- zu Rauschspannung bei Kurzwellen- und Ultrakurzwellengeräten um so besser wird, je besser die Antenne ihre Aufgabe erfüllt.

Wenn im folgenden Formeln und Definitionen gegeben werden, so sind sie immer mit der Einschränkung zu verstehen, daß sie nicht wissenschaftlich exakt sind, sondern lediglich dem Praktiker eine Vorstellung von dem Einfluß der einzelnen Größen vermitteln sollen. Es hat also auch wenig Sinn, beim Arbeiten mit diesen Beziehungen alle Werte auf mehrere Dezimalen zu berechnen. Aus dem gleichen Grunde sind auch die in den Tabellen angegebenen Werte nur als Richtwerte aufzufassen.

a) Strahlungseigenschaften

Wenn ein Gebilde als Antenne für elektromagnetische Schwingungen gelten soll, wenn es diese also aufnehmen oder abstrahlen soll, müssen die elektrischen Kraftlinien seines Feldes auf den magnetischen senkrecht stehen (oder umgekehrt) [1]. Experimentelle Erfahrungen und exakte Berechnungen zeitigten eine ganze Anzahl solcher Gebilde, die sich nicht nur hinsichtlich ihrer Abmessungen und ihrer elektrischen Eigenschaften unterscheiden, sondern auch dadurch, daß sie für die aufzunehmende oder abzugebende Strahlung in mehr oder weniger hohem Maße gewisse Richtungen bevorzugen. So gibt es Antennen, die sich nach allen Richtungen gleichmäßig verhalten, also eine kugelförmige Strah-

lungs-Charakteristik haben. Andere sind für gewisse Richtungen im Raum besonders empfindlich und weisen z. B. birnen- oder keulenförmige Richtcharakteristiken auf (vgl. Abschnitt IV, f). Ferner ist sehr vielen Antennen eigentümlich, daß sie Wellen einer ganz bestimmten Schwingungsrichtung bevorzugen, also in einer bestimmten Schwingungsebene „polarisiert" sind. Diese Polarisation spielt besonders bei den Dipolen für höhere Frequenzen eine Rolle. Man bevorzugt dort eine horizontale Polarisation, weil sie ein besseres Signal-/Störverhältnis ergibt als die vertikale Polarisation, die wiederum bei den mittleren Rundfunkwellen vorherrscht. Für besondere Zwecke (Breitbandantennen) verwendet man auch Schrauben- oder Spiralantennen. Sie wirken als Richtstrahler mit nahezu zirkularer Polarisation, wenn der Umfang einer Schraubenwindung in der Größenordnung der Wellenlänge liegt [10].

Maßgebend für die Anwendung der verschiedenen Antennenformen sind — soweit nicht örtliche Gegebenheiten die Wahl beeinflussen — ihre nachstehend besprochenen elektrischen Eigenschaften. Dabei besteht aus zwei Gründen Gleichheit zwischen Sende- und Empfangsantennen:

1. wegen des Reziprozitätsgesetzes in der Fassung von *Carson* [6]

2. wegen des *Kirchhoff*'schen Gesetzes von der Gleichheit des Emissions- und Absorptionsvermögen aller Körper [7].

b) Schwingkreiseigenschaften

Wie jedes schwingungsfähige elektrische Gebilde weist die Antenne eine (verteilte) Induktivität L, eine (verteilte) Kapazität C und einen ohmschen Widerstand auf. Allerdings muß bei Antennen zwischen den statischen und dynamischen (oder wirksamen) Induktivitäten und Kapazitäten unterschieden werden, je nachdem, ob die Stromverteilung längs der Antenne gleichmäßig oder ungleichmäßig ist. Der erste Fall (quasistationärer Zustand) ist dann gegeben, wenn die Antennenlänge klein gegen die Betriebswellenlänge ist, also bei üblichen Empfangsantennen im Lang- und Mittelwellenbereich. Im zweiten Fall gelten die dynamischen (L_d, C_d)

Werte, die stets kleiner oder höchstens gleich den statischen (L_s, C_s) Werten sind. Im Resonanzfall, d. h. wenn die Antenne in ihrer Eigenwelle erregt wird, betragen sie:

$$C_d = \frac{2}{\pi} C_s \quad (1) \qquad \text{und} \qquad L_d = \frac{2}{\pi} L_s \quad (2)$$

Der gesamte Wirkwiderstand einer Antenne ist:

$$R = (R_A + R_E + R_G) + R_S = R_a + R_S \quad (3)$$

R_A = Verlustwiderstand der Antenne
R_E = Wirkwiderstand des Empfängereingangs
R_G = Verlustwiderstand der Erdung
R_S = Strahlungswiderstand, siehe (4)
R_a = Antennenwiderstand.

Die darin enthaltenen Verlustwiderstände wirken natürlich dämpfend und sollten möglichst klein gehalten werden, wozu man besonders beim Erdanteil durch sorgfältige Erdung beitragen kann. Dagegen stellt der

c) Strahlungswiderstand einen Nutzwert dar, der bei Sendeantennen möglichst groß sein soll. Er ist gewissermaßen der Widerstand, der, im Strombauch der Antenne liegend, die Strahlungsleistung verbraucht und sich für unbeschwerte Antennen und wirksame Antennenhöhen bis $\lambda/4$ überschlägig aus folgender Beziehung ergibt:

$$R_s = 160\,\pi^2 \left(\frac{h_w}{\lambda}\right)^2 [\Omega] \quad (4a)$$

und für Dipole:

$$R_s = 80\,\pi^2 \left(\frac{l_w}{\lambda}\right)^2 [\Omega] \quad (4b)$$

h_w = wirksame Antennenhöhe
l_w = wirksame Antennenlänge

Bei (mit Induktivität oder Kapazität) beschwerten Antennen oder Antennenhöhen über $\lambda/4$ kann man den Strahlungswiderstand nur ziemlich umständlich nach *van der Pol* [2] berechnen. Man sieht aber aus (4), daß der Strahlungswiderstand scheinbar um so größer ist, je größer die Antennenlänge im Verhältnis zur Eigenwelle ist. Allerdings gilt das nicht unbegrenzt, wie aus **Bild 9** hervorgeht.

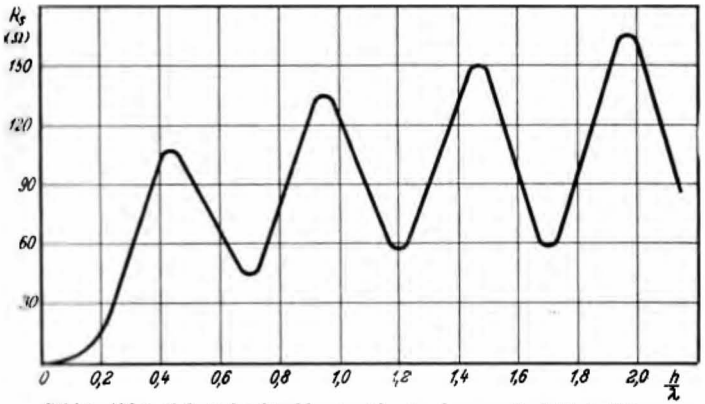


Bild 9. Abhängigkeit des Strahlungswiderstandes vom Verhältnis Höhe zu Wellenlänge (nach Siegel)

d) Eigenwelle

Ferner hängt der Strahlungswiderstand auch von der Eigenwelle der Antenne ab. Diese errechnet sich wie bei jedem Schwingungskreis aus:

$$\lambda_0 = 2\pi \sqrt{L_d \cdot C_d}\ [m; Hy; F] \qquad (5)$$

Rechnet man mit den statischen Werten, so ergibt sich überschlägig:

$$\lambda_0 = 2...4 \sqrt{L_s \cdot C_s}\ [m; Hy; F] \qquad (6)$$

Bei abgestimmten Dipolen ist die Eigenwelle etwa gleich der doppelten Dipollänge, mit anderen Worten: ein einzelner Dipol ist stets etwa $\lambda/2$ lang. Wegen der ungleichmäßigen Stromverteilung und weil die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Drähten kleiner ist als im Vakuum bzw. in der Luft, ist die tatsächliche Dipollänge meist um 5...8 % kleiner.

Wird die Antenne in ihrer Eigenwelle erregt, so ergibt sich theoretisch eine sinusförmige Strom- und Spannungsverteilung, wie **Bild 10** für den Dipol (siehe auch Abschnitt IV, c) und **Bild 11** für eine unbeschwerte $\lambda/4$-Vertikalantenne zeigt. Bei anderen Antennenformen (z. B. mit Kapazitätsbelastung am Ende) und dann, wenn im Antennenzug Induktivitäten

Bild 10. Strom- und Spannungsverteilung bei einem Dipol

Bild 11. Strom- u. Spannungsverteilung bei einer λ/4-Vertikalantenne

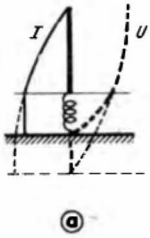


Bild 12a. Verlängerte Antenne

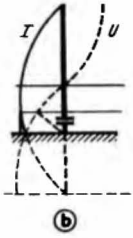


Bild 12b. Verkürzte Antenne

oder Kapazitäten liegen, ändert sich natürlich diese Spannungsverteilung, wie z. B. in **Bild 12a und b** dargestellt.

Spulen und Kondensatoren werden ja nicht nur in die Antenne gelegt, um diese an den Empfänger zu koppeln, sondern auch, um die Antenneneigenschaften zwecks Anpassung an die zu empfangende oder abzustrahlende Betriebswelle λ zu beeinflussen. Man spricht von Verlängerung (durch Spulen) oder Verkürzung (durch Kondensatoren). Ein Kondensator wirkt dabei verkürzend auf die Eigenwelle (Bild 12b), während die wirksame Antennenhöhe erhöht wird, weil der Strombauch vom Erdungspunkt weg „nach oben" verschoben wird. Bei sehr starker Verkürzung erhält man als Grenzfall den spannungsgekoppelten Dipol. Das Einschalten einer Spule (Bild 12a) verlängert dagegen die Eigenwelle und verkürzt dementsprechend die wirksame Antennenhöhe, weil sich das elektromagnetische Feld um so mehr in der Spule konzentriert, je größer diese gegenüber der Antenneninduktivität ist. Zwischen Verlängerung und Verkürzung liegt die unbeschwerte oder die gleichzeitig verlängerte und verkürzte Antenne. Der letztere Fall tritt z. B. ein, wenn die verlängernde Wirkung einer Koppelspule durch einen Kondensator kompensiert wird und dabei die Eigenwelle der Antenne gleich der Betriebswellenlänge der Antenne gemacht wird.

e) Wirksame Antennenhöhe

Für die Spannung, die von der Antenne an den Empfänger gebracht werden soll, ist neben der örtlichen Feldstärke in erster Linie die wirksame Antennenhöhe maßgebend. Diese oder auch die wirksame Antennenlänge ist nur dann der tatsächlichen Höhe oder Länge gleich, wenn die Stromverteilung in der Antenne gleichmäßig ist, weil die Antenne oberhalb ihrer Eigenwelle betrieben wird (L- und T-Antennen). Bei kürzeren Wellen ist dies jedoch selten der Fall, so daß die wirksame Höhe z. T. beträchtlich kleiner wird als die tatsächliche. Ein anderer Grund hierfür ist der, daß das Antennenfeld durch Gebäudeteile usw. und durch ihr eigenes Strahlungsfeld stark gestört wird. Aus der Formel (4) für den Strahlungswiderstand ergibt sich die optimale wirksame Höhe zu:

$$h_w \approx \frac{\lambda \sqrt{R_s}}{40} \qquad (7)$$

wenn dafür R_a (nach (3)) = R_s gesetzt wird. Während die Berechnung der wirksamen Höhe selbst ziemlich umständlich ist, läßt sie sich anschaulich an Hand einer grafischen Methode nach Bild 13 aus dem Stromdiagramm ermitteln. Hiernach

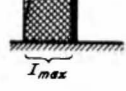


Bild 13.
Ermittlung der wirksamen Antennenhöhe

ergibt sie sich aus der Höhe eines Rechteckes, dessen Grundlinie gleich der Amplitude im Strombauch gemacht wird, und dessen Inhalt der Fläche entspricht, die von der Stromkurve eingeschlossen ist.

f) Dämpfung und Wellenwiderstand

Theoretisch muß jede abgestimmte Antenne bedämpft sein, damit die Seitenbänder der empfangenen Senderwelle nicht verzerrt werden. Dies ist natürlich besonders bei frequenz-

modulierten Sendern (siehe Abschnitt IV, d) wichtig. Die Dämpfung beträgt beim Dipol:

$$\delta = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{R}{2Z} \tag{8}$$

bei geerdeten Antennen: $\delta = \frac{R}{Z}$ (9)

In (8) und (9) bedeutet Z den sogenannten *Wellenwiderstand.* Er ist eine weitere wichtige Größe, die bei jeder Leitung, aber auch bei jeder abgestimmten Antenne und hier besonders bei höheren Frequenzen eine gewisse Rolle spielt. Der Wellenwiderstand errechnet sich aus:

$$\mathfrak{Z} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \tag{10}$$

und, wenn man R gegen ωL und die Ableitung G gegen ωC vernachlässigen kann, aus:

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} \tag{11}$$

Gleichzeitig gibt er das Verhältnis von Strom zu Spannung an jedem beliebigen Punkt einer reflexionsfrei abgeschlossenen Leitung oder einer dieser gleichzusetzenden abgestimmten idealen Antenne an. Wie man sieht, ist er unabhängig von Frequenz und Leiterlänge.

Bei waagerechten und senkrechten Drahtantennen ergibt sich der Wellenwiderstand aus:

$$Z = 60 \ln\left(\frac{2\,hw}{r}\right) \tag{12}$$

beim λ/2-Dipol aus:

$$Z = 120 \ln\left(\frac{lw}{2r} - 0{,}65\right) \tag{13}$$

wenn r der Drahtradius der Antenne in cm und ln der natürliche Logarithmus ist. Mit dem Wellenwiderstand nicht zu verwechseln ist der Gesamtwiderstand bzw. die Impedanz der Antenne, die, an deren Enden gemessen, wesentlich höher als am Fußpunkt ist. Maßgebend für die praktischen Anwen-

dungen ist jedoch immer der Widerstand, der sich am Speise- bzw. Ableitungspunkt der Antenne (Eingangswiderstand) ergibt. Die zwischen Antenne und Empfänger liegende Speiseleitung wie auch der Empfängereingang müssen, besonders bei Ultrakurzwellen, mit ihrem Widerstand an diesen Eingangswiderstand, der im Idealfall dem Strahlungswiderstand entspricht, angepaßt werden.

In den klassischen Rundfunkwellenbereichen und bei aperiodischen Antennen ist die Anpassungsfrage mehr eine Sache der Energiebilanz.

g) Energiebilanz und Anpassung bei aperiodischen Antennen

Die Feldstärke eines Senders am Empfangsort beträgt für eine vertikale Antenne, die kurz gegen λ/4 ist und bei Entfernungen zwischen 30 und 300 km:

$$E = \frac{300\sqrt{N_{Se}}}{r} \text{ [mV/m]} \quad (14)$$

r = Entfernung des Senders (km)
N_{Se} = Senderleistung (kW)

Wie wir auch aus der Dimension Millivolt je Meter erkennen, verursacht die Feldstärke zwischen Antenne und Erde bzw. an einem Dipol einen Spannungsabfall U, der um so höher ist, je höher die wirksame Antennenhöhe h_w ist:

$$U = E \cdot h_w \text{ [V]} \quad (15)$$

Der aus dieser Spannung resultierende Antennenstrom beträgt nun:

$$J = \frac{U}{R_a + R_S} \text{ [A]} \quad (16)$$

worin R_S der bereits besprochene Strahlungswiderstand der Antenne und R_a die Zusammenfassung der Verlustwiderstände mit dem Nutzwiderstand ist: $R_a = R_V + R_N$ (17)

Darnach wird von der Antenne eine Wirkleistung

$$N = \frac{U^2}{R_a + R_S} \quad (18)$$

aufgenommen, von der der Anteil

$$N_S = \frac{U^2}{R_S} \quad (19)$$

wieder abgestrahlt wird. Man erkennt hieraus, daß die höchste Antennenspannung bzw. der höchste Antennenstrom dann auftritt, wenn $R_a = R_S$ ist. In diesem Fall wird genau die Hälfte der aufgenommenen Wirkleistung wieder abgestrahlt, woraus hervorgeht, daß der Wirkungsgrad der Empfangsantenne maximal nur 50 % betragen kann.

Arbeitet man mit nichtabgestimmten Antennen, so ergibt sich aus folgender Überlegung, daß es wenig Sinn hat, die Antenne über ein bestimmtes Maß hinaus zu verlängern: der Strom, dessen Höchstwert man erzielen will, beträgt:

$$J = \frac{E \cdot l_w}{R_a + R_S} \quad (20), \text{ und für } R_a \longrightarrow 0:$$

$$J = \frac{E \cdot l_w}{R_S} = \frac{E \cdot l_w \cdot \lambda^2}{160\pi^2 \cdot l_w^2} = \frac{E \cdot \lambda^2}{160\,\pi^2 \cdot l_w} \qquad (21)$$

Hier steht die wirksame Antennenlänge l_w unter dem Bruchstrich. Je größer sie wird, desto kleiner wird also der Antennenstrom. Gravierend wird das, wie man ebenfalls aus der Formel ersieht, bei kurzen Wellen und langen Antennen, weil dann schon beträchtliche Abstrahlungen auftreten. Da aber R_a niemals Null werden kann bzw. soll (denn er enthält ja auch den Nutzwiderstand), mag dieser Gedankengang nur zeigen, daß man nicht allgemein sagen kann: je länger die Antenne, desto besser!

Die günstigste Antennenlänge beträgt ungefähr:

$$l_{opt} \approx \frac{\lambda \sqrt{R_a}}{56{,}4} \text{ [m]} \qquad (22)$$

In der Praxis wählt man die Länge einer L-Antenne zu max. 1/8...1/4 der kürzesten zu empfangenden Wellenlänge, während die Länge einer T-Antenne größer werden kann.

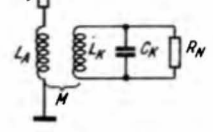


Bild 14.
Zur Ankopplung aperiodischer Antennen an den Empfängereingang

Der nächste Schritt besteht darin, den Empfänger an die Antenne anzuschließen. Das geschieht in der Mehrzahl der praktisch vorkommenden Fälle durch induktive Ankopplung der Antenne an den Eingangskreis gemäß **Bild 14.**

Hier ist L_A die Antennen-, L_K die Kreisinduktivität, C_A die Antennen-, C_K die gesamte Kreiskapazität, R_N der Nutzwiderstand des Empfängereingangs und R_i der Innenwiderstand der hier als Generator aufgefaßten Antenne, der sich aus dem Strahlungswiderstand R_S und den Verlusten R_V zusammensetzt. Um im Nutzwiderstand R_N eine möglichst hohe Leistung zu erzielen, bemißt man die günstigste Kopplung mit der Gegeninduktivität

$$M_{opt} = \sqrt{\frac{R_i + R_N}{\omega^2}} \; [H_y] \tag{23}$$

Man sieht hieraus, daß die Formel nur für eine bestimmte Frequenz $\omega = 2\pi f$ gültig ist. Praktisch bleibt jedoch die so errechnete Kopplung über einen gewissen Frequenzbereich günstig, weil eine Fehlanpassung von 100 % erst einen Leistungsverlust von 11 % bewirkt. Kann man den Verlustwiderstand der Antenne gegenüber ihrem Strahlungswiderstand vernachlässigen (was meistens der Fall ist) und berücksichtigt man, daß der über M in die Antenne transformierte Nutzwiderstand

$$R_{N'} = \frac{M^2}{L_K^2} \cdot R_N \tag{24}$$

in Serie mit dem Strahlungswiderstand R_S liegt, so erhält man jetzt für die von der Antenne aufgenommene Leistung

$$N_a = \frac{U^2}{R_S + R_{N'}} \tag{25}$$

und für die vom Empfänger verbrauchte Nutzleistung

$$N_N = \frac{U^2 \cdot R_{N'}}{(R_S + R_{N'})^2} \tag{26}$$

Die Differenz zwischen beiden Leistungen $N_S = N_a - N_N$ wird von der Antenne wieder abgestrahlt. Auch hier erkennt man wieder, daß eine Vergrößerung der Antennenhöhe bzw. -länge nur bis zu dem Punkt nützlich ist, wo $R_S = R_{N'}$, d. h. bei Vernachlässigung der Verluste $= R_a$ wird.

Da nämlich die Antennenspannung proportional mit der Antennenhöhe (Formel 15), der Strahlungswiderstand jedoch mit dem Quadrat der Höhe (Formel 4) anwächst, kann eine Vergrößerung der Antennenhöhe über den genannten Punkt hinaus bei loser Kopplung eine Schwächung der Empfangsenergie statt einer Erhöhung hervorrufen. Praktisch erfolgt die Anpassung aperiodischer Antennen empfängerseitig durch veränderliche Kopplung, Einschalten von angezapften Verlängerungsspulen und von Verkürzungsdrehkondensatoren.

h) Anpassung abgestimmter Antennen

Bei abgestimmten Antennen, das sind Dipole und auf die zu empfangende Frequenz abgestimmte Drahtantennen, muß dagegen wegen der nichtquasistationären Stromverteilung eine zweimalige Anpassung erfolgen: 1. zwischen Antenne

und Speiseleitung (Feeder) und 2. zwischen Speiseleitung und Empfängereingang.

1. Der Eingangswiderstand, der — wie schon erwähnt — im Idealfall dem Strahlungswiderstand (Formel 4a und b) entspricht, muß an den Wellenwiderstand der benutzten Speiseleitung angepaßt werden oder umgekehrt. Der Wellenwiderstand einer zweidrähtigen Speiseleitung ergibt sich aus:

$$Z = \frac{120}{\sqrt{\varepsilon}} \ln\left(\frac{d}{r}\right) \quad \text{für: } \frac{d}{r} > 5 \qquad (26)$$

d = Drahtabstand (cm)
r = Drahtradius (cm)
ε = Dielektrizitätskonstante
ln = natürlicher Logarithmus

und aus der Kurve **Bild 15**, während für konzentrische Kabel die Formel:

$$Z = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon}} \ln\left(\frac{D}{2r}\right) \qquad (27)$$

D = Innendurchmesser des Außenleiters
2r = Außendurchmesser der Seele

gilt, die in der Kurve **Bild 16** grafisch dargestellt ist [3].

Da die Speiseleitung möglichst nicht strahlen soll bzw. bei Empfangsantennen keine Antennenwirkung haben soll, ist der Strahlungswiderstand dieser Leitung möglichst klein zu halten. Er beträgt bei einer Doppelleitung:

$$R_S \approx 15 \left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right)^2 \qquad (28)$$

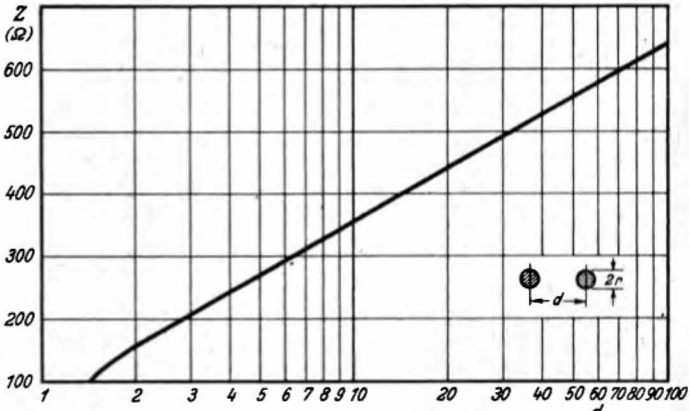


Bild 15. Wellenwiderstand von zweidrähtigen Speiseleitungen in Luft (ε = 1)

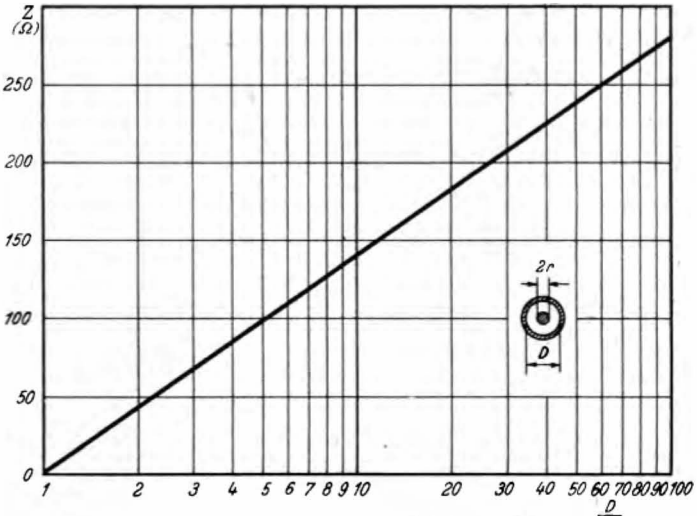


Bild 16. Wellenwiderstand von konzentrischen Kabeln ($\varepsilon = 1$)

2. An den Wellenwiderstand der Speiseleitung (Feeder) ist nun wiederum die Empfängereingangsschaltung anzupassen. Im Kurzwellenbereich pflegt man dazu zwischen

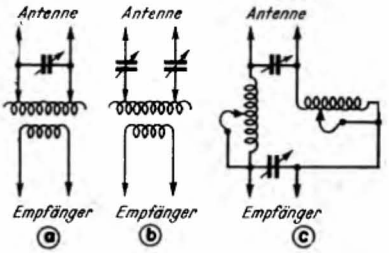


Bild 17. Antennenabstimmgeräte

Feeder und Empfängereingang besondere Abstimmschaltungen z. B. nach **Bild 17** zu legen, die gleichzeitig gestatten, die Speiseleitung abzustimmen. Das ist für die beiden praktisch vorkommenden Gebrauchsformen der Leitung (mit fort-

schreitenden und mit stehenden Wellen) sehr bequem. Während man nämlich normalerweise beliebig lange Speiseleitungen bevorzugt, die durch sorgfältige Anpassung frei von stehenden Wellen gehalten werden, ist es bei kleineren Abständen als $\lambda/2$ zwischen Antenne und Gerät oft bequemer, einen Feeder mit stehenden Wellen zu benutzen.

In Ultrakurzwellenanlagen kommt es häufig vor, daß der Wellenwiderstand einer gegebenen Speiseleitung nicht zur Antenne oder zum Empfängereingang paßt. Dann nimmt man eine Wellenwiderstandstransformation vor, die sich immer

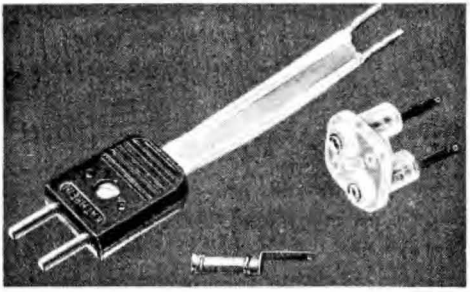


Bild 18. UKW-300-Ohm-Steckverbindung von Kathrein (Aufnahme: Verfasser)

im Prinzip durch einen (Spar-)Übertrager nach der Formel

$$\frac{L_1}{L_2} = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} \tag{29}$$

erzielen läßt. Bei UKW- und Dezimeterantennen ergibt sich dabei natürlich, daß die Übertragerwicklungen nur noch aus Drahtstücken (vergl. die V-Antennen in Tabelle II und III) bzw. bei Rohrleitungen und konzentrischen Kabeln aus Querschnittsänderungen bestehen. Ein beliebtes Mittel zur Wellenwiderstandstransformation ist ein $3/8\ \lambda \ldots \lambda/4$ langes Stück Leitung oder Kabel, dessen Wellenwiderstand gleich der Wurzel aus dem Produkt der beiden aneinander anzugleichenden Wellenwiderstände ist:

$$Z_L = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2} \tag{30}$$

Natürlich ist hierbei die Anpassung nur für eine ganz bestimmte Wellenlänge genau.

Aus dem oben Gesagten ergibt sich andererseits, daß man sehr überlegt bei der Herstellung von Verbindungen zwischen Antenne, Leitung und Empfänger vorgehen muß, damit die Stoßstellen nicht eine unerwünschte Transformation des Wellenwiderstandes hervorrufen und auf die übertragenen Wellen reflektierend wirken. Für UKW-FM-Empfänger sind bereits reflexionsfreie Steckverbindungen **(Bild 18)** im Handel, die für das 300-Ohm-Flachkabel konstruiert wurden. Dieses Kabel besteht aus zwei 1 mm starken Litzen, die im Abstand von 8 mm in eine flexible verlustarme Kunstharzmasse eingebettet sind. Gegenüber konzentrischen Kabeln hat diese Bandleitung erhebliche montagemäßige Vorteile.

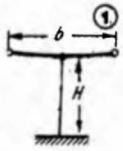
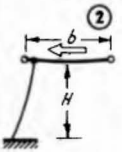
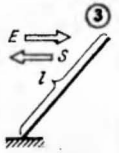
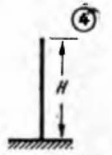
Die bei abgeschirmten Antennenanlagen verwandten Anpassungsübertrager werden im Abschnitt VII besprochen, da sie nicht zur Anpassung der Antenne an den Empfänger dienen.

IV. Gebräuchliche Ausführungsformen von Antennen

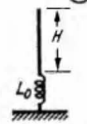
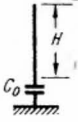
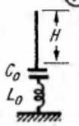
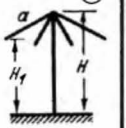
a) Aperiodische Antennen für Lang-, Mittel- und Kurzwellen

In den klassischen Wellenbereichen werden üblicherweise geerdete Einzeldraht-Antennen benutzt, die zwischen Stützpunkten aufgehängt werden oder in Mastform mit oder ohne Kapazitätsvergrößerungen aufgestellt werden. **Tabelle I** zeigt einige Standardantennen aus der Fülle der bekanntgewordenen Ausführungsformen. Für alle Formen gilt, daß man sie gemäß den in Abschnitt III gegebenen Beziehungen möglichst hoch über der Erdoberfläche und allen mit ihr zusammenhängenden Gebilden (Häuser, Bäume usw.) anbringt. Die Abmessungen der Antennen, besonders ihre Länge, sind wenig kritisch. Man bemüht sich jedoch, stets eine Form zu finden, die sich den örtlichen Verhältnissen anpaßt und einen möglichst guten Kompromiß zwischen den Forderungen der verschiedenen Frequenzgebiete schließt.

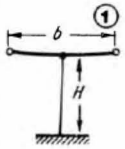
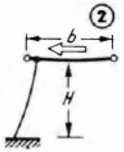
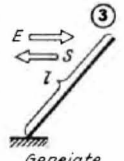
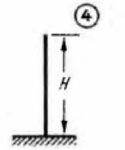
Tabelle I: Aperiodische Antennen

Form	①  T-Antenne	②  L-Antenne	③  Geneigte Eindraht-Antenne	④  Vertikal-Antenne
Übliche Abmessungen	$b = 15 \cdots 25\,m$ $H = max.$	$b = 11 \cdots 15\,m$ $H = max.$	$l = 15 \cdots 25\,m$	$H = 3 \cdots 6\,m$ oder $H \approx \lambda/4$
(Statische) Kapazität	$C_s = \frac{b}{2 \ln \frac{2H}{r}}$ (cm) $b < \lambda$ alles [cm] (ohne Ableitung!)		wie L- u. T-Ant., wenn $l = b$ und mittl. Höhe $= H$	$C_s = \frac{H}{2 \ln \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{H}{d}}$ (cm)
(Statische) Induktivität	$L_s = 2b \cdot \ln \frac{2H}{r}$ alles [cm] (ohne Ableitung!)		wie L- u. T-Ant., wenn $l = b$ und mittl. Höhe $= H$	$L_s = 2H \ln \frac{H}{\sqrt{\frac{3d}{2}}}$ (cm)
Wirksame Höhe	$h_w \approx H$ (für $H < \lambda$)	$h_w \approx H$ (für $H < \lambda$)	$h_w \approx$ mittl. Höhe (für $H < \lambda$)	$h_w = \frac{2}{\pi} H$
Wirksame Länge	$l_w = \frac{b}{2} + H$	$l_w = b + H$	$l_w \approx l$ (für $l < \lambda$)	—

Fortsetzung von Tabelle I

⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
				
Verlängerte Vertikal-Antenne	*Verkürzte Vertikal-Antenne*	*Verlängerte u. verkürzte Vertikal-Antenne*	*Schirm-Antenne*	*Rahmen-Antenne*
$H = 3 \cdots 6\,m$	$H = 3 \cdots 6\,m$	$H = 3 \cdots 6\,m$	$H_1 \approx H$ $H > a$	$a, b = 0{,}3 \cdots 1\,m$
wie ④	wie ④	wie ④	$C_S = \dfrac{70{,}7 \cdot a \cdot 10^{-12}}{1 - \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{a}{\sqrt{a^2 + 4k^2}}}$ [pF] $k = *)$	nur meßbar
wie ④	wie ④	wie ④	$L_S \approx 4a \ln \frac{H+H_1}{r}$ [cm] (ohne Ableitung!)	$L_S \approx 1{,}25 \frac{l^2}{\sqrt{O}}$ L_S in [cm] l = Drahtlänge [cm] $O = *)$
$h_W \approx \frac{H}{2}$ oder nach ⑥ und ⑦	$h_W = \lambda \dfrac{\sin 360 \frac{H+l_0}{\lambda} - \sin 360 \frac{l_0}{\lambda}}{2\pi \cos 360 \cdot \frac{l_0}{\lambda}}$ $l_0 = \dfrac{\lambda - \lambda_0}{4}$		$h_W \approx \frac{1}{3}(H + 2H_1)$	$h_W = \dfrac{2\pi F \cdot n}{\lambda}$ h_W und λ in [cm] $F = a \cdot b$ [cm²] n = Windungszahl
—	—	—	$l_W = H + a$	—

siehe Seite 26 und 27

Form	①  T-Antenne	②  L-Antenne	③  Geneigte Eindraht-Antenne	④  Vertikal-Antenne
Eigenwelle	$\lambda_0 = 4{,}5 \cdots 5\, l_W$ ⊤ $\lambda_0 = 5 \cdots 7\, l_W$ ⊤ $\lambda_0 = 9 \cdots 10\, l_W$ ⊤ *)	$\lambda_0 = 4 \cdots 5{,}5 \cdot l_W$	$\lambda_0 = 4{,}2\, l$	$\lambda_0 = 4{,}1 \cdot H$
Strahlungs-widerstand	$R_S \approx 160\pi^2 \left(\frac{H}{\lambda}\right)^2$ (für $H < \lambda$)	$R_S \approx 160\pi^2 \left(\frac{H}{\lambda}\right)^2$ (für $H < \lambda$)	$R_S = 160\pi^2 \left(\frac{h_W}{\lambda}\right)^2$	$\approx 40\,\Omega$ für $\frac{\lambda}{4}$-Antennen $R_S = 36{,}6\,\Omega$ für $\frac{h_W}{\lambda} = \frac{1}{4}$ $R_S = 98\,\Omega$ für $\frac{h_W}{\lambda} = \frac{1}{2}$
Wellen-widerstand	$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} = 60 \ln \frac{2H}{r}$	$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} = 60 \ln \frac{2H}{r}$	$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$	$Z = 60 \ln \frac{2 h_W}{r}$
Erhöhung der Richtwirkung durch:	—	(Richtwirkung vorhanden)	(Richtwirkung vorhanden)	—
Bemerkungen	ln = nat. Log. r = Radius des Antennendrahtes *) $b = 2 \cdots 3\,H$	ln = nat. Log. r = Radius des Antennendrahtes	Richtwirkung für S = Sendung E = Empfang	d = Drahtdicke; bzgl. R_S: s. Bild 9

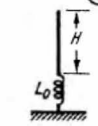
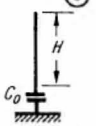
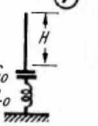
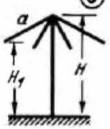
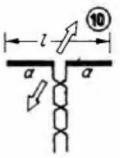
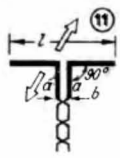
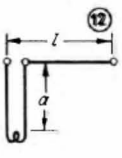
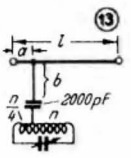
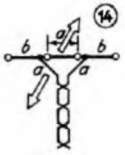
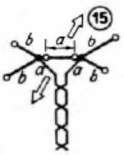
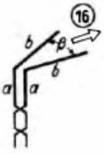
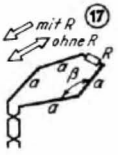
⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
				
Verlängerte Vertikal-Antenne	Verkürzte Vertikal-Antenne	Verlängerte u. verkürzte Vertikal-Antenne	Schirm-Antenne	Rahmen-Antenne
unbelastet $\lambda_0 = 4{,}1 \cdot H$	unbelastet $\lambda_0 = 4{,}1 \cdot H$	unbelastet $\lambda_0 = 4{,}1 \cdot H$	$\lambda_0 = 6 \cdots 8\, l_W$ bei großer Drahtzahl (a): $\lambda_0 = 8 \cdots 10\, l_W$	$\lambda_0 = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$
$R_S = 160\pi^2 \left(\frac{h_W}{\lambda}\right)^2$	$R_S = 160\pi^2 \left(\frac{h_W}{\lambda}\right)^2$	$R_S = 160\pi^2 \left(\frac{h_W}{\lambda}\right)^2$	$R_S = 160\pi^2 \left(\frac{h_W}{\lambda}\right)^2$	$R_S = \frac{88 \cdot a \cdot b \cdot n}{\lambda}$
$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$	$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$	$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$	$Z \geq \sqrt{\frac{L}{C}}$ (abhängig von a)	$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$
—	—	—	—	(Richtwirkung vorhanden)
$L_0 = \frac{\lambda}{1{,}885} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot ctg \frac{360}{\lambda} \cdot H$ [cm]	$C_0 = \frac{477{,}8 \cdot \lambda}{\frac{1{,}885}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} ctg \left(\frac{360}{\lambda} \cdot H\right)}$ C_0, L_0 in [cm]	$C_0 = \frac{477{,}8 \cdot \lambda}{\sqrt{\frac{L}{C}} \cdot ctg \left(\frac{360}{\lambda} \cdot H\right)}$ [cm]	*) $k = \frac{H + H_1}{2} + d \ln \frac{d}{2a}$ d = mittl. Abstand der Strahlen a	*) O = Oberfläche (cm^2) = Mantel + 1 Stirnfläche

Tabelle II: Kurzwellen-Antennen

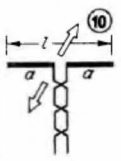
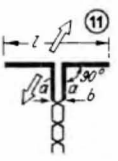
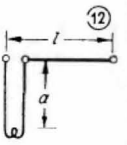
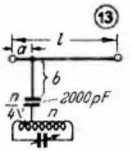
Form	 $\frac{\lambda}{2}$ – Dipol	 Johnson – Q –	 Zeppelin – (Beggerow –)	 Windom – Antenne
Übliche Abmessungen	$a \approx \frac{\lambda}{4}$ $l = \frac{\pi}{2} l_w$ – 5 .. 8 %	a = 12 mm Φ Alu-Rohr 0,78 λ lang b = 5 ... 15 cm (je nach Z) l = 1,56 λ	l = 0,475 od. 0,95 λ a = 1,3,5,7 ... x $\frac{l}{2}$ oder: $2a$ = 1,3,5,7 ... x 0,4 λ	l = 0,483 λ b = beliebig lang a = 0,176 | 0,167 | 0,162 λ Drahtϕ 1,8 mm | 1,0 mm | 0,6 mm
(Statische) Kapazität	nur meßbar	nur meßbar	wird zweckmäßig gemessen	$C_s \approx \frac{l}{2 \ln \frac{2b}{r}}$ [cm] für $b < \lambda$ r = Radius des Antennendrahtes
(Statische) Induktivität	wird zweckmäßig gemessen	wird zweckmäßig gemessen	wird zweckmäßig gemessen	$L_s \approx 2 l \ln \frac{2b}{r}$ [cm] für $b < \lambda$ (ohne Ableitung!)
Wirksame Höhe	etwa gleich der wirklichen Höhe, wenn diese < λ			$h_w \approx b$ (für $b > \lambda$)
Wirksame Länge	$l_w = \frac{2}{\pi} \cdot l = \frac{2}{\pi} \frac{\lambda}{2}$	—	—	—

Fortsetzung von Tabelle II

siehe auch Tabelle I, ③ bis ⑦

 V-Dipol	 Dreifach-V-Dipol	 V-Antenne	 Rhombus	Rahmen-Antenne
$a = 3\,m$ $b = 6\,m$	$a = 3\,m$ $b = 4{,}8\,m$	$a = \frac{\lambda}{4}$ $b =$ | $\beta =$ λ | 110^0 $1{,}5\,\lambda$ | 90^0 $2\,\lambda$ | 75^0 $4\,\lambda$ | 50^0	$a = 4{,}1\,\lambda$; $R = 800\,\Omega$ $\beta = 180^0 - 2\,\vartheta$ *) $H = 0{,}83\,\lambda$ $\beta =$ | $a =$ 60^0 | λ 95^0 | $2\,\lambda$ 115^0 | $3\,\lambda$	$a = 44\,cm$ $b = 41\,cm$ Drahtlänge: $1{,}27\,m$
wie ① u. ② (Tab. I), wenn $(2b+a) < \lambda$	nur meßbar	wie bei divergierender Leitung	wie bei divergierender Leitung	nur meßbar
wie ① u. ② (Tab. I), wenn $(2b+a) < \lambda$	nur meßbar	wie bei divergierender Leitung	wie bei divergierender Leitung	$L_S \approx 1{,}25 \cdot \frac{l^2}{\sqrt{F}}$ [cm] l = Drahtlänge [cm] F = Rahmenfläche [cm²]
etwa gleich der wirklichen Höhe, wenn diese $< \lambda$			wenn $H < \lambda$; $h_w \approx H$ H = Höhe über Boden	$h_w \approx \frac{2\pi F}{\lambda}$ [cm] F = Rahmenfläche
—	—	abhängig von β	—	—

siehe Seite 30 und 31

Form	 $\frac{\lambda}{2}$ – Dipol	 Johnson-Q-	 Zeppelin- (Beggerow-)	 Windom- Antenne
Eigenwelle	$\lambda_0 = 2 \cdot l_w$	$\lambda_0 = f(a,l)$	$\lambda_0 = f(a,l)$	$\lambda_0 \approx 2{,}07\,l$
Strahlungs-widerstand	$R_S = 75 \sqrt[4]{\frac{2\,l_w}{\lambda}}$ für $\frac{l_w}{\lambda} \geq 3$: $R_S = 72{,}5 + 30 \ln \frac{l}{\lambda}$	$R_S = 80\pi^2 \left(\frac{l_w}{\lambda}\right)^2$	$R_S = 80\pi^2 \left(\frac{l_w}{\lambda}\right)^2$	$R_S \approx 160\pi^2 \left(\frac{h_w}{\lambda}\right)^2$
Wellen-widerstand	$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} = 120 \ln \left(\frac{l_w}{2r} - 0{,}65\right)$	$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$	$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$	$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$
Erhöhung der Richtwirkung durch:	Reflektor, ca. 5% länger als l, im Abstand von 0,15 λ vom Dipol, s.a. (19)	wie (10)	(wie L-Antenne)	(wie L-Antenne)
Bemerkungen	ln = nat. Log. r = Drahtradius	—	Speiseleitung mit stehenden Wellen	schwierig abzustimmen

siehe auch Tabelle I, ③ bis ⑦

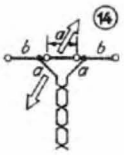
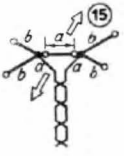
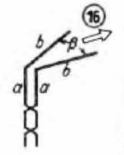
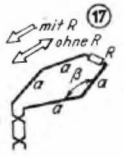
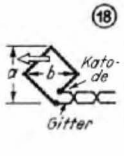
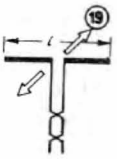
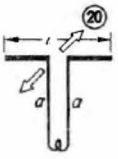
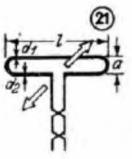
⑭	⑮	⑯	⑰	⑱
				
V-Dipol	Dreifach-V-Dipol	V-Antenne	Rhombus	Rahmen-Antenne
16 ··· 25 m-Bereich	16 ··· 25 m-Bereich	siehe oben, je nach Abmessungen	je nach a, mit R: größere Bandbreite	16 ··· 35 m-Bereich
$R_S = 80\pi^2\left(\frac{l_w}{\lambda}\right)^2$	$R_S = 80\pi^2\left(\frac{l_w}{\lambda}\right)^2$	$R_S \approx 80\pi^2\left(\frac{l_w}{\lambda}\right)^2$	—	$R_S \approx \frac{88 \cdot F}{\lambda}$
durch V-Ableitung = Z der Speiseleitung (s. Bild 15)	durch V-Ableitung = Z der Speiseleitung (s. Bild 15)	$\mathfrak{Z} = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}}$	$\mathfrak{Z} = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}}$	$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$
Reflektordraht 1,05 (a+2b) lang, (nur für 1 Wellenlänge) in $\frac{\lambda}{4}$ Abstand	—	Reflektorsystem gleicher Gestalt, jedoch nicht angeschlossen	$R = Z = \lvert\mathfrak{Z}\rvert$	—
—	wie ⑭, aber kleinere Baulänge	—	Montage parallel zur Erdoberfläche *) ϑ = Wellen-Einfallswinkel	—

Tabelle III: Ultra-Kurzwellen-Antennen

Form	 $\frac{\lambda}{2}$ – Dipol	 Symmetrische Zeppelin-Antenne	 Schleifendipol
Übliche Abmessungen	$l = 0{,}475\ \lambda$	$l = 0{,}475\ \lambda$ $a = 1,2,3,4 \cdots \times l$ oder: $2a = 1,2,3,4 \cdots \times 0{,}8\ \lambda$	$a = 0{,}016\ \lambda$ $l = 0{,}477\ \lambda$ $d_1 = d_2$
Strahlungs-widerstand	$R_S = 75 \sqrt[4]{\frac{2 l_W}{\lambda}}$ $l_W = \frac{2}{\pi} \cdot l$	$R_S \approx 75 \sqrt[4]{\frac{2 l_W}{\lambda}}$ $l_W = f(a, l)$	—
Anpassungs-widerstand	ohne Reflektor: 72...75 Ω mit Reflektor: 60 Ω mit Reflektor + Direktor: 25 Ω	= Wellenwiderstand der Speiseleitung	ohne Reflektor: 288 Ω mit Reflektor: 250 Ω mit Reflektor + Direktor: 100 Ω
Erhöhung der Richtwirkung durch:	Reflektor = $\frac{\lambda}{2}$ lang Direktor = 0,458 λ lang Abstand jeweils: $\frac{\lambda}{4} \ldots \frac{\lambda}{8}$ s. auch Bild 19,20	wie (19)	wie (19)
Bemerkungen	—	stehende Wellen auf der Speiseleitung!	wenn $d_2 < d_1$ ergeben sich höhere Anpassungswiderstände

siehe auch Tabelle II, ⑩, ⑪, ⑯ **und Bild 21 bis 23**

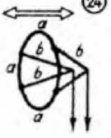
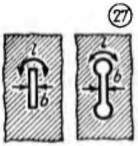
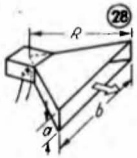
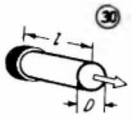
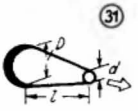
㉒	㉓	㉔	㉕
			
Kreuzdipol	*Lorenz Fernseh-Richtantenne*	*Ringdipol (USA)*	*Rahmenantenne*
wie ㉑, Verbindung durch $\frac{\lambda}{4}$ -Leitung	*Die Ringe sind Mipolamrohre, die halbkreisförmige Dipole aus Aluminium-Seil enthalten*	*$a = \frac{3}{4}\lambda\,(90°)$* *$b = \frac{\lambda}{2}$* *alles aus 10mm-Rohr*	*Außenring: 43cm Φ* *Innenring: 38,5cm Φ* *Alu-Rohr: 9,5mm Φ*
—	—	—	—
40 bzw. 150Ω	*wie Speiseleitung (konz. Kabel)*	*150Ω*	*300Ω*
Richtwirkung (für Rundempfang) aufgehoben	*herzförmige Richtcharakteristik*	*leichte (7°) Neigung nach oben*	*wie bei normaler Rahmenantenne*
—	*Zur Vermeidung von Mantelwellen wird die Speiseleitung in el. neutralem Punkt zugeführt*	—	*Gernsback-Antenne Lit.: Radio-Electronics 1949, August, S. 28 s. auch Funkschau 1949, 170 und Funktechnik 1950, 108*

Tabelle IV: Dezimeter-Antennen

Form	(26) *Schlitzstrahler*	(27)  *Schlitzstrahler*	(28)  *Hornstrahler*
Übliche Abmessungen	*je nach Wellenlänge u. -typ*	*je nach Wellenlänge und -typ* $Kap.: C = f\left(\frac{1}{b}\right)$ $Ind.: L = f(l)$	*je nach Wellenlänge und -typ* $\frac{\lambda}{2} < a < \frac{3}{2}\lambda$
Erhöhung der Richtwirkung durch:	*kreisförmigen Reflektor*	*Reflektor- und Direktorschlitze in der gleichen Metallebene*	*Änderung der Trichterabmessungen* $\frac{b}{\lambda}$ *und* $\frac{R}{\lambda}$
Bemerkungen	*Anschluß an konzentrische Leitungen*	*Anwendung bei Hohlraum-Resonatoren und -leitern*	*Anschluß an konzentrische Leitungen*

siehe auch Tabelle III. ⑲, und Bilder 8 und 20

㉙	㉚ 	㉛ 
Hornstrahler	Massiver dielektrischer Stabstrahler	Massiver dielektrischer Kegelstumpf-Strahler
je nach Wellenlänge und -typ $\frac{\lambda}{2} < a < \frac{3}{2}\lambda$ $R = \frac{0{,}3\lambda \cos\frac{\alpha}{2}}{\left(1-\cos\frac{\alpha}{2}\right)}$; $D = 2R\sin\frac{\alpha}{2}$	$D = \frac{0{,}36 \cdots 0{,}58\,\lambda}{\sqrt{\varepsilon - 1}}$ l = z.B. 1,8 λ	$D = \frac{0{,}58\,\lambda}{\sqrt{\varepsilon - 1}}$ $d = \frac{0{,}36\,\lambda}{\sqrt{\varepsilon - 1}}$ l = z.B. 3,3 λ
Änderung der Trichterabmessungen $\frac{b}{\lambda}$ und $\frac{R}{\lambda}$	Reflektorring am Erregerende	
Anwendung bei Hohlraumresonatoren und -leitern	ε = Dielektrizitätskonstante des Strahlerwerkstoffes	

b) **Rahmenantennen**

In den Tabellen sind auch Rahmenantennen mit aufgeführt. Sie gelten jedoch als abgestimmte Antennen, weil sie elektrisch meist den Schwingkreisinduktivitäten gleichgemacht werden und diese ersetzen. Sie haben den besonderen Vorteil, daß sie eine während des Empfangs veränderbare Richtwirkung aufweisen, durch deren Ausnutzung die Gesamttrennschärfe des Empfängers erhöht wird. In transportable Zwergsuper werden — besonders im Ausland — gern Rahmenantennen eingebaut, die unter Verzicht auf diese Richtwirkung den Vorteil der Antennenunabhängigkeit aufweisen, während sie die Störungsempfindlichkeit der Netzantenne vermeiden.

c) Abgestimmte **Kurzwellenantennen** (Dipole)

Diese bei den Amateuren auch für Sendezwecke beliebte Antennenklasse ist in der Praxis durch eine große Vielzahl von Ausführungsformen vertreten, von denen **Tabelle II** die wichtigsten Vertreter zeigt. Man kann hier unterscheiden zwischen solchen Antennen, die sich bei geschickter Wahl der Abmessungen durch Ausnutzung von Oberwellen für mehrere Frequenzbänder eignen, und solchen, die vorzugsweise für eine einzelne Empfangsfrequenz bzw. (wegen ihrer Dämpfung) für ein einzelnes Frequenzband bestimmt sind. Wesentlich an einem Dipol, der in seiner Eigenwelle erregt wird, ist die nicht quasistationäre Stromverteilung. Das heißt, in einem gegebenen Augenblick ist der Antennenstrom längs des Dipols nicht überall gleich groß, sondern er zeigt gemäß Bild 10 in der Dipolmitte ein Maximum, den sogenannten Strombauch. An der gleichen Stelle befindet sich dafür ein Spannungsknoten, also ein Minimum der Spannung, die an den Dipolenden ihren größten Wert erreicht. Daraus ergibt sich das Bild einer stehenden Halbwelle. Mit dieser Strom- und Spannungsverteilung hängt zusammen, daß die ausnutzbaren Oberwellen eines Dipols stets 3/2, 5/2, 7/2, usw. der

Grundwelle sind. Mechanisch stellt sich der Dipol (abgesehen von seiner spannungsgekoppelten Ausführung) immer dar als zwei in kurzem Abstand hintereinander liegende Leiterstücke von etwa $\lambda/4$ Länge.

d) UKW-Antennen und Breitbandantennen

Das eben beginnende Zeitalter des UKW-FM-Rundfunks hat schon eine ganze Reihe neuer Antennenformen ins Leben gerufen. Neben den einfachen Dipolen spielen hier — wegen des Vorherrschens der Frequenzmodulation in diesem Frequenzgebiet — die Breitbandantennen eine große Rolle. Von den Dipolen wurde schon im Abschnitt III gesagt, daß sie meist etwa 5... 8% kürzer gehalten werden, als theoretisch zu erwarten wäre, weil der Einfluß der Endkapazitäten und die geringere Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Wellen in Metallen gegenüber derjenigen in Luft bzw. in Vakuum eine Korrektur in diesem Sinne erfordern. Sehr kritisch ist die Dipollänge jedoch nicht — man wird in der Praxis z. B. für das 100-MHz-Band (87 bis 97 MHz) immer mit 154 cm Dipollänge auskommen.

Aus Gründen der Energiebilanz ist es nun nicht ratsam, Dipole durch (ohmsche) Bedämpfung zur Aufnahme breiter Frequenzbänder zu präparieren. Vielmehr pflegt man die Antennenkonstruktion so zu wählen, daß sich schon auf Grund ihrer elektrischen Eigenschaften eine größere Bandbreite ergibt. Derartige Breitbandantennen sind meist durch eine gewisse Ausdehnung senkrecht zur Dipolachse gekennzeichnet. Man baut die Dipole zu Rechtecken, Dreiecken, Rhomben, Ellipsen, Kreisen usw. aus, immer mit dem Erfolg, daß die Induktivität der Antenne verringert und ihre Kapazität vergrößert wird, während der Strahlungswiderstand im Gegensatz zum Wellenwiderstand kaum beeinflußt wird. Dadurch erhält die Antenne ein kleineres L/C-Verhältnis, somit eine geringere Güte und dementsprechend eine breitere Resonanzkurve.

e) Dezimeterantennen (Tabelle IV)

1. Dipole

Dipolantennen für Dezimeterwellen gehorchen den gleichen Gesetzen wie diejenigen für Ultrakurzwellen, stellen also praktisch nur verkleinerte Ausführungsformen der UKW-Dipole dar. Die Zukunft wird allerdings den nachstehend genannten Antennenarten oder den mit Dipolen kombinierten Ausführungen gehören.

2. *Die Schlitzstrahler* [1] wurden schon im Abschnitt II erwähnt. Typische Ausführungsbeispiele zeigen die Bilder der Tabelle IV. Die Abmessungen des Schlitzes bestimmen hier die Resonanzfrequenz, und zwar wächst die Kapazität mit abnehmender Schlitzbreite, während die Induktivität mit zunehmender Öffnung der Schlitzenden steigt. Derartige Strahler eignen sich besonders für Hohlraumleiter, wo sie als mehr oder weniger geneigte und mehr oder weniger tief in die Wandung eingeschnittene Schlitzpaare die gleichen Wirkungen zeigen, wie Dipole und ihre Direktoren und Reflektoren in der UKW-Technik.

3. Bewährt haben sich auch die *Hornstrahler,* besonders in Verbindung mit elektrischen Linsen [11]. Sie können an Hohlleitern wie auch an konzentrischen Leitungen betrieben werden.

4. Eine Antennenklasse, die noch in den Kinderschuhen steckt, aber auch für längere Wellen noch interessante Anwendungsmöglichkeiten verspricht, ist die der *dielektrischen Antennen* [4]. Ihr Hauptkennzeichen ist, daß das eigentlich strahlende Gebilde nicht metallisch ist, sondern aus irgendeinem guten Dielektrikum, also einem Isolator, besteht. Der dielektrische Strahler kann Zylinder-, Kegelstumpf- oder Rohrgestalt mit beliebiger Querschnittsform besitzen und weist für seine Resonanzfrequenzen eine ausgesprochene Richtwirkung auf. Außerdem arbeitet er mehr oder weniger selektiv, d. h. er wirkt nur in einem ganz bestimmten Frequenzband als Antenne, das durch seine voneinander ab-

hängigen Abmessungen und die Dielektrizitätskonstante des benutzten Dielektrikums bestimmt wird.

Ähnlich wie bei den herkömmlichen Dipolen lassen sich auch bei den letztgenannten Antennenformen durch Gruppierung mehrerer Strahler in bestimmter Anordnung höhere Strahlbündelungen und entsprechende Spannungsgewinne erzielen.

f) Richtantennen

Bringt schon eine abgestimmte Antenne gegenüber einer aperiodischen einen gewissen Spannungsgewinn, so kann dieser Gewinn noch erheblich durch Ausnutzung der Richtwirkung vergrößert werden, wenn die gegebenen Verhältnisse einen Richtempfang zulassen. Aber auch bei aperiodischen Antennen können Richtstrahlanordnungen (soweit sie hier überhaupt möglich sind) wertvoll sein, wenn die hauptsächlich zu empfangenden Sender auf einer Linie mit dem Empfangsort liegen bzw. alle Sender in einer Himmelsrichtung (vom Empfangsort gesehen).

Die klassische Richtantenne, deren Wirkungsweise auch heute noch für Peilzwecke ausgenutzt wird, ist die bekannte Rahmenantenne. Sie hatte in der Pionierzeit der Funktechnik oft gewaltige Abmessungen und ist inzwischen mit wachsenden Empfängerempfindlichkeiten bis auf ein rudimentäres Dasein als eingebaute Kleinantenne in modernen Zwergsuperhets aus der eigentlichen Rundfunktechnik verschwunden. Grund hierfür ist ihre in Wohnräumen unerwünschte staubfangende und platzbeanspruchende Konstruktion, sowie ihre relative Unempfindlichkeit. Dazu kommt, daß auch die offenen Antennenarten — aperiodische wie abgestimmte — leicht zu Richtantennen ausgebaut werden können.

Schon die einfache L-Antenne bevorzugt Sender, die in der Richtung ihrer Drahtachse liegen und zeigt so eine gewisse Richtwirkung. Ähnliches gilt für V-Antennen und andere Gebilde, deren Richtwirkung in den Bildern der Tabellen I-IV durch Pfeile angedeutet wurde.

Bild 19.
UKW-Schleifendipol mit Reflektor (Kathrein)

Bei den Dipolen ist schon aus physikalischen Gründen bereits eine Richtwirkung vorhanden, die sich als achtförmige Strahlungscharakteristik senkrecht zur Dipolachse äußert. Durch Anordnung eines Reflektors (siehe Tabelle II-IV) ist es möglich, den Empfang von der einen Seite noch zu unterbinden, so daß man eine scharfe einseitige Richtwirkung erhält. Dabei werden bei längeren Wellen Reflektorstäbe, bei kürzeren Parabol- und Schirmreflektoren bevorzugt. Einen UKW-Schleifendipol mit Reflektor zeigt Bild 19.

Die Anordnung von Empfangs- und Reflektordipolen in Reihen über- und nebeneinander zu sogenannten Dipolzeilen [7] trägt ebenfalls zur Erhöhung der Richtwirkung durch schärfere Bündelung bei. Es würde zu weit führen, sämtliche bekannten Lösungen, angefangen von der *Telefunken*-Tannenbaum-Antenne bis zu den modernsten Dezimeter-Systemen, auch nur dem Prinzip nach zu besprechen; sie kommen wegen ihrer hohen Kosten praktisch auch nur für kommerzielle Anlagen in Betracht.

Wir wollen uns aber merken, daß bei Ultrakurzwellen und Dezimeterwellen praktisch nur noch abgestimmte Richtantennen benutzt werden, da wegen der quasioptischen Eigenschaften dieser Wellen nur in Ausnahmefällen ein Rundempfang gefordert wird. In diesen Fällen ist es aber wegen der Kleinheit der Antennengebilde leicht möglich, bei Senderwechsel auch die Antenne (über mechanische oder elektrische Fernsteuerung) in die neue Richtung zu drehen. Diese Unbequemlichkeit macht sich bei den meist nur geringen zur

Verfügung stehenden Energien durch den beträchtlichen Spannungsgewinn bezahlt.

Häufig ordnet man bei Empfangsdipolen außer einem Reflektor hinter dem Dipol oft auch noch einen oder mehrere sogenannter Direktoren vor dem Dipol an, die den Spannungsgewinn zusätzlich erhöhen (Yagi-Antenne, **Bild 20**).

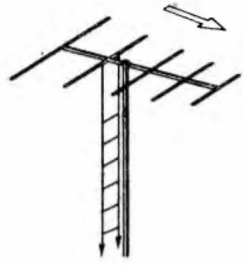


Bild 20.
Yagi-Antenne

Reflektor wie Direktor haben dann jeweils den gleichen Abstand vom Dipol, der in der Praxis zwischen $\lambda/8$ und $\lambda/4$ liegt. Je kleiner dieser Abstand gewählt wird, desto höher wird der Spannungsgewinn bei gleicher Feldstärke, desto schmaler wird aber auch die Bandbreite der Antenne bei gleichzeitig sinkendem Wellenwiderstand. Man bevorzugt daher zum FM-Empfang die größeren Abstände bis zu $\lambda/4$. Die Wirkungsweise der Reflektoren und Direktoren beruht auf der sogenannten Strahlungskopplung [5].

g) Allwellen-Antennen

Aus dem Bestreben heraus, möglichst mit einer einzigen Antennenanlage alle Frequenzbereiche von den Langwellen bis zu den Ultrakurzwellen zu umfassen, sind eine Reihe verschiedener Allwellen-Antennen entwickelt worden, von denen zwei bekannte Ausführungen hier besprochen seien.

So ist die vor Jahren eingeführte Einheitsfernsehantenne **(Bild 21)** durch geschickte Konstruktion auch als Rundfunkantenne verwendbar gemacht worden. Sie besteht zunächst aus einer einfachen Mastantenne, die für Rundfunkwellen

über den Antennenübertrager Ü (vergl. Abschnitt VII) an das Kabel angeschlossen ist. Bei Ultrakurzwellen ist dieser Übertrager wirkungslos, weil er durch den Kondensator C überbrückt wird. Um die wegen des unvermittelten Über-

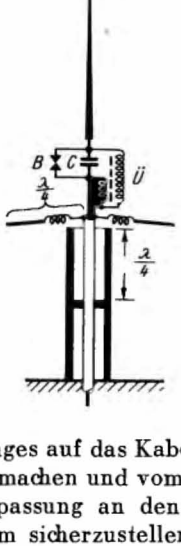


Bild 21. Einheits-Fernsehantenne (B = Blitzschutz)
Ein ähnliches Aussehen zeigte die Blaupunkt-Antenne AT 49 (Bild 30), die mit 3 Stäben zur Störkompensation arbeitete, aber nicht für UKW-Empfang bestimmt war. Der Nachfolgetyp AT 50 ersetzt die Entstörungsstäbe durch eine konzentrierte Kapazität, woraus eine Empfindlichkeitserhöhung resultiert. In Verbindung mit einem fest angebauten Schleifendipol ergibt sich die AT 70, die z. Z. modernste Allwellenantenne

ganges auf das Kabel auftretenden Mantelwellen unschädlich zu machen und vom Kabel fernzuhalten, und um die richtige Anpassung an den Wellenwiderstand des Kabels von 130 Ohm sicherzustellen, wird dieses durch einen λ/4-Sperrtopf geführt. Am oberen Rand des Kabels sind aus dem gleichen Grund zwei Stäbe angebracht, die mit ihren in Serie liegenden Spulen genau auf λ/4 abgestimmt sind.

Den Nachteil der vertikalen Polarisation vermeidet die Allwellen-Drahtantenne mit horizontalem Dipol **(Bild 22).** Diese hat andererseits den Nachteil, daß die Dipollänge für FM-Empfang ziemlich kritisch ist und durch Versuche auf das genaue Maß festgelegt werden muß. L, C ist ein Sperrkreis aus Spule und Trimmer, der in den Antennenzug eingebaut und auf die UKW-Frequenz abgestimmt wird, so daß der anschließende lange Antennendraht für die Ultrakurzwelle nur als Abspannseil wirkt, während er bei den längeren

Bild 22.
Allwellen-Drahtantenne

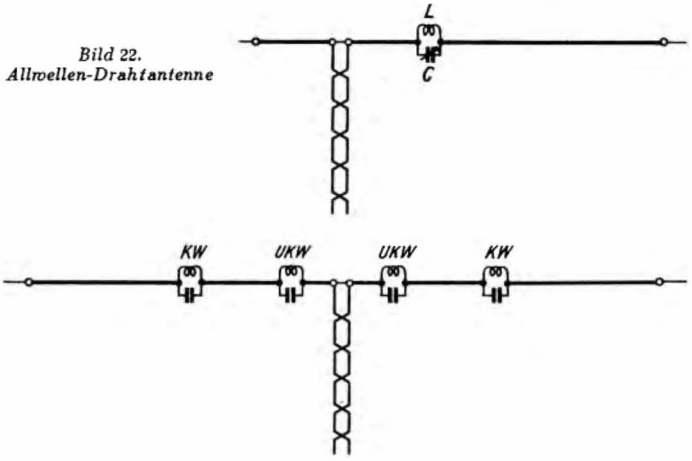


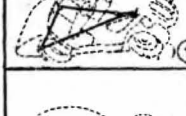
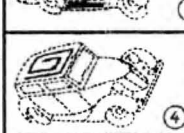
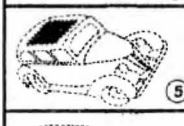
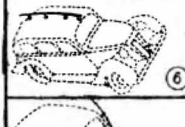
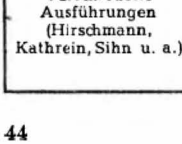
Bild 23. Symmetrische Allwellen-Drahtantenne

Wellen durch die geringe Impedanz der Spule L volle Antennenwirkung aufweist. Man kann nach dem gleichen Prinzip auch ein vollkommen symmetrisches Antennengebilde mit UKW- und KW-Dipol aufbauen, das dementsprechend zwei UKW- und zwei KW-Sperrkreise enthält **(Bild 23).**

h) Kraftwagenantennen

Antennen für Kraftwagenempfänger leiden unter Platzmangel. Man weiß nie so recht, wohin damit, um eine möglichst große Antennenspannung zu erhalten, ohne die Umwelt zu gefährden. **Tabelle V** zeigt eine Reihe bekannter Lösungen. Die günstigste Lösung ist natürlich die Anordnung auf dem Wagendach. Hier bestand jedoch immer die Gefahr der Beschädigung beim Unterfahren von Bäumen, Durchfahrten und der Garageneinfahrt. Eine neue *Hirschmann*-Konstruktion (siehe Tabelle V) vermeidet hier jede Beschädigung durch die Anordnung eines Biegegliedes zwischen Montageteil und Antennenstab.

Tabelle V: Kraftwagenantennen

Ausführungs-Beispiel	Name	Ausführung und Daten	Bemerkungen
 ①	Unterchassis-Dreieckantenne	Offenes Dreieck, durch Feder straff gehalten, Spitze reicht nicht bis unter Motor	Beste Lösung, wenn auf der Karosserie keine Antenne angebracht werden kann
②	Stoßstangen-Antenne	Stoßstangen an Gummipuffern aufgehängt	Leichte Montage, aber von Zufälligkeiten abhängige Behelfslösung. Bei Störungen: Kabel abschirmen, evtl. nur hintere Stange benutzen
 ③	Trittbrett-Antenne	Im Zickzack verspannte, isolierte Drähte, 3...5 cm unter den Trittbrettern	Nur bei Lastwagen und älteren Modellen mit Holztrittbrettern
 ④	Dach-Bandantenne	10 m Bandlitze spiralförmig oder im Zickzack auf Tuch genäht. 10...15 cm Abstand von Metallteilen	Nur bei Holzkarosserie, Deckenbeleuchtung abschirmen
 ⑤	Dach-Drahtnetzantenne	Drahtnetz im Stoffverdeck, von Metallteilen isoliert	Nur bei Holzkarosserie bzw. Stoffverdeck, Deckenbeleuchtung abschirmen. Maschengröße: max. 3 cm
⑥	First-Antenne	Mindestens 5 cm Isolatorhöhe	Kurze, störungsarme Zuleitung möglich
⑦	Stab- oder Rutenantenne	Meist Teleskopantenne, 60...150 cm lang	Leichte Montage, kurze, störungsarme Zuleitung möglich
 ⑧	Stab- oder Rutenantenne	75 cm Länge ausreichend	Leichte Montage, kurze Zuleitung möglich
Verschiedene Ausführungen (Hirschmann, Kathrein, Sihn u. a.)	Zusammenschiebbare und versenkbare Autoantennen	Teleskopantennen, 60...150 cm lang, Kapazität (montiert): 30...45 pF, davon $^2/_3$ reine Antennenkapazität	Leichte Montage, kurze, störungsarme Zuleitung möglich. Isolierknopf an der Spitze zum Ausgleich statisch. Aufladungen

Erwähnt sei bei dieser Gelegenheit, daß amerikanische Personenwagen oft mit Teleskop-Antennen ausgerüstet sind, die durch kleine Motoren ein- und ausgefahren werden können.

Wegen der geringen wirksamen Höhe aller Autoantennen erhalten Kraftwagenempfänger grundsätzlich immer eine Hf-Vorstufe. Die dadurch erzielte hohe Empfindlichkeit setzt allerdings eine einwandfreie Entstörung der elektrischen Anlage voraus.

i) Zimmer- und Behelfsantennen

Als Behelfsantenne läßt sich so ziemlich jeder metallische Gegenstand nennenswerter Ausdehnung verwenden. Angefangen bei Gardinenstangen über Klaviersaiten, Metallmatratzen, über reguläre Zimmerantennen mehr oder weniger phantastischer Konstruktion bis zu den Gas-, Wasser-, Heizungs- und (über Schutzkondensator!) Lichtleitungen, wird praktisch alles, was irgendwie Wellen absorbiert, für Empfangszwecke benutzt. Jedoch wäre es wenig sinnvoll, im Rahmen unserer Betrachtungen über Antennen hierfür auch noch Hinweise zu geben. Eine Außenantenne ist in jedem Fall einer Zimmer- oder Behelfsantenne überlegen, auch wenn die örtlichen Verhältnisse noch so sehr zur Benutzung von Behelfsantennen einladen. Aber gerade die örtlichen Gegebenheiten sind so mannigfaltig, daß wir schon aus Raumgründen hier nicht darauf eingehen könnten. Auch stellt diese Antennenklasse keine so hohen Anforderungen an den Praktiker, daß er zu deren Bau einer Anleitung bedürfte.

k) Künstliche Antennen

Der Vollständigkeit halber sollen hier noch die künstlichen Antennen erwähnt werden, die für Meßzwecke benutzt werden. Sie bestehen meist aus Serienschaltungen von Kapazitäten mit Widerständen und auch Induktivitäten, welche die elektrischen Eigenschaften der Antennen im gegebenen Fre-

quenzbereich nachbilden sollen. So werden künstliche Sendeantennen entsprechend hoher Belastbarkeit benutzt, um im Prüffeld Sender abzugleichen und zu messen, ohne die

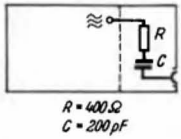


Bild 24.
Künstliche Antenne im Meßsender

gesamte Umgebung mit der Sendefrequenz verseuchen zu müssen. Für Empfängermessungen werden künstliche Antennen z. B. nach **Bild 24** in die Meß- und Prüfsender eingebaut, um den verstimmenden Einfluß üblicher Antennen auf die Empfängereingangsschaltung nachbilden zu können.

V. Wahl des Aufstellungsortes

Wer die in den vorangegangenen Abschnitten geschilderten theoretischen Beziehungen und die in den Tabellen gegebenen praktischen Hinweise berücksichtigt, weiß nun schon, daß es im allgemeinen immer darauf ankommt, jede Antenne möglichst weit von der Erde zu entfernen, also möglichst hoch zu bauen, um die am Empfangsort vorhandene Feldstärke weitgehend auszunutzen. Dabei wurde immer darauf hingewiesen, daß Häuser, Bäume und dergleichen ebenfalls als zur Erde gehörig zu betrachten sind. Die Erklärung hierfür soll jetzt gegeben werden. Über ebener Erde liegen im Idealfall die (gedachten) Potentiallinien (man denke an die Dimension der Feldstärke: Volt pro Meter!) parallel zur Erdoberfläche. Durch die auf der Erdoberfläche stehenden Gebilde werden diese Potentiallinien verschoben und stellenweise zusammengedrängt, wie dies **Bild 25** schematisch zeigt. Da aber unglücklicherweise die meisten Empfangsanlagen in Wohnhäusern benutzt zu werden pflegen, müssen wir uns schon etwas mit diesem Problem auseinandersetzen.

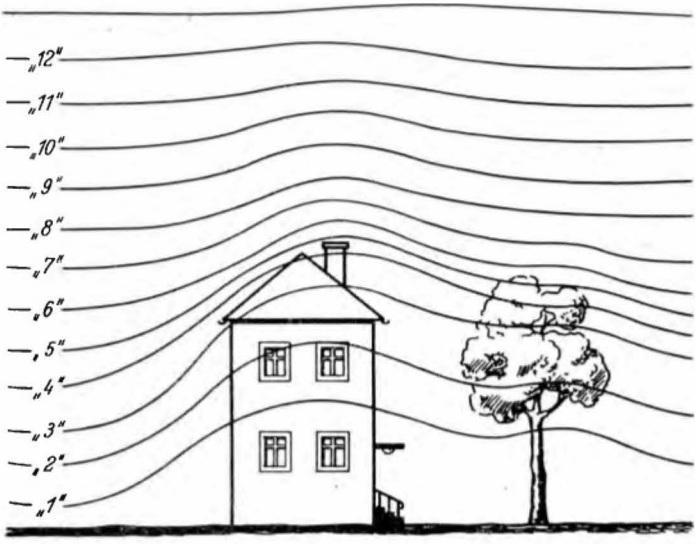


Bild 25. Verschiebung der Potentiallinien

In **Bild 26** sind bei gleichen Verhältnissen wie in Bild 25 einige Antennen eingezeichnet. Hier erkennen wir, daß die Antenne A, eine übliche L-Antenne, frei im Gelände hängt, so daß sie etwa die Feldstärke „6,5" ausnutzen kann, während die gleiche Antenne auf der anderen Seite des Hauses (B in Bild 26) über Bäume hinwegführt und daher die genannte Feldstärke nur teilweise erhalten kann. Gleichzeitig sieht man aber am Beispiel C des gleichen Bildes, daß auch eine ausdehnungsmäßig viel kleinere Stabantenne, wenn sie nur geschickt aufgestellt ist, eine verhältnismäßig hohe Feldstärke („9") erhalten kann. Ganz schlecht kommt dabei eine Innenantenne D mit der Feldstärke „0,8" weg. An dieses Bild der Feldlinien sollte man immer denken, wenn man eine Antenne aufstellen will. Es gilt für alle Wellen bis zu den mittleren Kurzwellen.

Bei den ultrakurzen und Dezimeterwellen ist eine andere Vorstellungsart günstiger, nämlich die, daß die Antenne den Sender „sehen" kann. Beherzigt man hier auch das über Po-

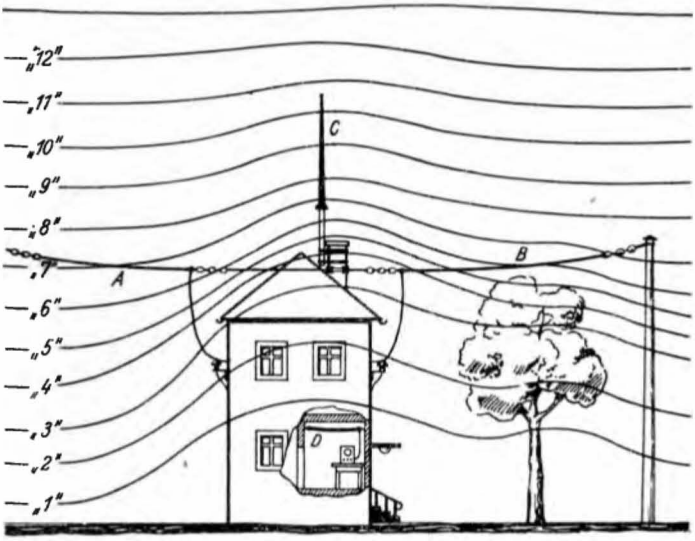


Bild 26. Antennen im gestörten Senderfeld

larisation Gesagte, so ist folgendes Gedankenbeispiel nutzbringend: Man stelle sich vor, daß man durch einen Schlitz in einem Kartonblatt nach der Senderantenne sehe. Dazu muß man sich natürlich erst einmal so hoch aufstellen, daß man theoretisch (z. B. mit einem Fernglas) an etwaigen Hindernissen vorbei überhaupt die Sendeantenne sehen kann. Dann drehe man (immer noch in Gedanken) den Kartonschlitz so, daß er sich in seiner Richtung mit dem Sendedipol deckt. Damit ist zunächst Ort und Lage des Empfangsdipols grob bestimmt. Da bei diesen Wellen Reflektion und Beugung eine große Rolle spielen, muß man nun noch bei angeschlossenem Empfänger den genauen Aufstellungsort und diejenige Lage der Empfangsantenne bestimmen, in der sich das Lautstärkemaximum ergibt. In dieser Lage wird dann die Antenne montiert und so ein zufriedenstellender Empfang gesichert. Bei der Montage arbeitet man zweckmäßigerweise mit einem Helfer, der einem durch Zuruf oder über eine provisorische

Telefonverbindung das Lautstärkemaximum des Empfängers angibt. Man kann auch vom Empfängerausgang her eine behelfsmäßige Leitung zum Dach ziehen und dort z. B. ein Outputmeter anschließen, um nach dessen Ausschlägen die Antenne auszurichten.

Für alle Antennenarten und alle Wellenbereiche gilt übrigens, daß man bei der Montage darauf achten soll, möglichst weit von Regenrinnen, Masten, Seilen und vorhandenen Antennen abzubleiben, deren Lage zu unerwünschter Kopplung mit der zu errichtenden Antenne führen kann.

Auch die Beachtung der behördlichen Vorschriften (siehe Abschnitt VI), architektonische Gesichtspunkte und die Wünsche des Hausbesitzers, ferner die Frage, ob eine abgeschirmte Ableitung erforderlich ist, sind wichtige Punkte der Antennenplanung, die unbedingt überlegt werden sollten, bevor man auf das Dach steigt. Alle diese Sorgen erspart natürlich die Innenantenne — dafür ist der Ertrag an verfügbaren Sendeenergien entsprechend gering, wie wir schon aus Bild 26 erkennen konnten.

VI. Praktischer Antennenbau

Beim Bau von Außenantennen ziehe man unbedingt einen Fachmann hinzu, um sich und andere vor Schäden zu bewahren.

a) Isolation und anderes

Jeder Elektriker weiß, daß man eine Antenne isoliert an ihren Stützpunkten aufhängen bzw. an ihrem Standort montieren soll. Nicht jeder aber denkt daran, daß z. B. Isolierband oder (feuchter) Bindfaden keinen geeigneten Hf-Isolator darstellen. Die einschlägige Industrie hat für den Antennenbau die verschiedensten Isolatoren, meist aus mehr oder weniger hochwertigen Hartkeramiken, hergestellt. Nun gibt es für gewisse Außenantennen eine Vorschrift, nach der die Abspannungsisolatoren nicht auf Zug, sondern nur auf Druck beansprucht werden dürfen. Dieser Vorschrift ist die Geburt des bekannten Antennenei's zu danken, eines Isolators, dessen aufeinander senkrecht stehende Durchführun-

gen das isolierte Verschlingen des ankommenden und abgehenden Drahtes in der Weise gestatten, daß der Isolator nur auf Druck beansprucht wird und selbst im Falle seiner Zerstörung die Antenne nicht auseinanderfällt.

Für kleinere Dachantennen mit geringerer mechanischer Belastung und Innenantennen gilt diese Vorschrift nicht, so daß man hier u. a. auch stabförmige Isolatoren mit einem Loch an jedem Ende, sogenannte Knochenisolatoren, verwenden kann. Dadurch wird die Isolationsstrecke größer und die unerwünschte Kapazität zwischen Antenne und Abspannung so weit verringert, daß man mit jeweils einem Isolator auskommt, während man bei Eierisolatoren mehrere hintereinander schalten muß. Solche Hintereinanderschaltungen sind als sogenannte Eierketten im Handel. Sie sind allerdings zur Aufhängung von Drahtdipolen für kurze Wellen weniger geeignet, da ihre metallischen Verbindungsstücke absorbierend wirken und unerwünschte kapazitive Ankopplungen (etwa 2 pF) der Abspannungen hervorrufen.

Aus diesem und auch aus einem anderen Grunde ist es ratsam, Dipole aus festen Rohren oder Stäben herzustellen. Drahtdipole nämlich, die zwischen Abspannseilen aufgehängt werden, können unter Winddruck in ihrer Lage um Strecken verschoben werden, die schon in der Größenordnung der benutzten Wellenlänge liegen. Entsprechende Lautstärkeschwankungen können dann die Folge sein. Aus dem gleichen Grunde sollten auch starre Dipole (abgesehen von den Sicherheitsvorschriften) so montiert werden, daß sie möglichst wenig im Winde schwanken können. Über den richtigen Standort nach empfangstechnischen Gesichtspunkten wurde schon im Abschnitt V gesprochen, so daß wir uns hier nur noch mit den einschlägigen Vorschriften und einigen anderen Fragen befassen müssen.

b) Ableitung

Die Antennenableitung oder Speiseleitung soll möglichst die gesamte verfügbare Antennenenergie an den Empfänger bringen. Sie muß daher genau so sorgfältig isoliert werden

wie die Antenne selbst. Es ist dann gleichgültig, ob das dazu benutzte Drahtmaterial selbst isoliert ist oder nicht. Auch sollte man sie in möglichst großem Abstand von Haus- und Zimmerwänden und allen Leitungen führen, damit die mühsam eingefangene Energie nicht unterwegs kapazitiv zur Erde abfließt. In vielen Fällen muß man mit der Ableitung durch den Störnebel des Hauses hindurch (vergl. Bild 28 in Abschnitt VII). Dann empfiehlt sich natürlich ein abgeschirmtes Antennenkabel, an dessen niedrigen Wellenwiderstand Antenne und Empfänger durch Anpassungsübertrager (vergl. Abschnitt VII) angepaßt werden. Auch, wenn die Ableitung unter Putz verlegt werden soll, ist dies die gegebene Lösung. Bei allen abgestimmten Antennen und Dipolen mit zweidrähtigen Speiseleitungen wird eine verlustarme Abschirmung zu kostspielig. Hier kann man nur mit dem Empfänger in unmittelbare Nähe der Einführung ziehen, um die Speiseleitung möglichst kurz zu halten.

c) Bestimmungen, Vorschriften ...

Grundlegende Voraussetzung dafür, daß die Umwelt — beginnend beim Hausbesitzer und endend bei den Behörden — unsere Antennenambitionen duldet, ist, daß nichts passieren kann. Unsere Antenne darf also weder bei Sturm noch bei Vereisung und erst recht nicht bei einem Gewitter irgendeinen Schaden verursachen. Da man natürlich nicht an alles denken kann, sind eine ganze Reihe Vorschriften in Kraft, die man beim Antennenbau im eigensten Interesse beachten sollte. Die wichtigsten Vorschriften sind im Literaturverzeichnis aufgeführt.

Hier mögen dem Sinne nach aus VDE 0855 kurz folgende Bestimmungen wiedergegeben werden:

Antennen dürfen nicht über Gebäuden mit weicher Bedachung (Stroh-, Schindel-, Rohrdach usw.) geführt werden und müssen über anderen Dächern so angelegt sein, daß deren Begehung für Dacharbeiten und Schornsteinreinigung nicht behindert wird (2 m lichte Höhe).

Öffentliche Plätze, Verkehrswege einschließlich Bahnen und Wasserstraßen usw., ferner elektrische Leitungen dürfen nur mit Genehmigung der zuständigen Stellen benutzt bzw. gekreuzt werden. In diesen Fällen dürfen alle Antennenarbeiten nur von anerkannten Fachleuten ausgeführt werden.

Kreuzungen von Starkstromleitungen mit Spannungen über 250 V gegen Erde und von Fahrleitungen elektrischer Bahnen mit Spannungen über 750 V gegen Erde sind verboten; Kreuzungen von solchen Leitungen niedrigerer Spannung sind möglichst zu vermeiden, sonst aber so auszuführen, daß Antenne und Ableitung selbst isoliert (NGAW-Leitung nach VDE 0250) sind. Der kleinste senkrechte Abstand bei größtem Durchhang muß mindestens 1 Meter betragen. Außerdem sind in diesem Fall nur Einleiterantennen zulässig, deren praktische Höchstzugspannung 20% der Dauerzugfestigkeit nicht überschreiten darf. Neben weiteren Bestimmungen ist hier ein Schutzkondensator von 10 nF/1 kV zwischen Erdungsschalter und Empfänger vorgeschrieben. Findet keine Kreuzung statt, sondern besteht nur die Möglichkeit einer Annäherung von Starkstromleitungen, so muß der waagerechte Abstand mindestens 10 Meter betragen. Auch darf kein Übertritt von Fremdspannung möglich sein.

Bei Kreuzung von oder Näherung an Fernmeldeleitungen gelten folgende Bestimmungen:

Kreuzung möglichst rechtwinklig, jedenfalls nicht unter einem kleineren Winkel als 60° bei 1 Meter Mindestabstand. Parallelführung in mindestens 5 Meter Abstand, bei Berührungsmöglichkeit (Bruch) Antenne und Zuleitung aus NGAW-Leitung nach VDE 0250.

Wenn Fernmeldeleitungen der Deutschen Post gekreuzt werden sollen, gelten die gleichen Bestimmungen wie für Kreuzung von Starkstromleitungen, nur daß hier der Antennendraht weder isoliert sein noch aus Litze bestehen darf. Gleichzeitige Kreuzungen von Fernmelde- und Starkstromleitungen sind verboten.

Die Antennenanlage muß in allen Teilen eine der auftretenden Höchstbeanspruchung genügende Sicherheit und

Wetterbeständigkeit aufweisen (Materialwahl nach DIN VDE 8310[3]). Das gleiche gilt für die Abspannungspunkte, deren Festigkeit wiederum durch die Antenne nicht beeinträchtigt werden darf. Deshalb sollen z. B. Befestigungen an Schornsteinen nur mittels das Mauerwerk umfassender Schellen (Mindestabstand bei Mastantennen: 60 cm) vorgenommen werden.

Überspannungsschutz

Nichtleitende Stützpunkte von mehr als 3 Meter Höhe müssen mit einem 3 mm starken Blitzschutzdraht versehen sein, der natürlich geerdet werden muß. Auch leitende Stützpunkte bis 3 Meter Höhe sind über eine 3 mm starke Erdleitung zu erden, während solche über 3 Meter Höhe (über Dach) nach den Richtlinien des Ausschusses für Blitzableiterbau geerdet werden müssen. Dabei sollen Verbindungen mit Blitzableiteranlagen eine Berührungsfläche von mindestens 10 cm² haben, so weit nicht genormte Bauteile dazu verwendet werden (DIN VDE 1818, 1819, 1837, 1845).

Bei Stabantennen mit nichtleitenden Trägern ist der Blitzschutzdraht oder ein mit ihm verbundener Metallteil mindestens auf 30 mm an den eigentlichen Antennendraht heranzuzuführen. Leitende Träger für Stabantennen sind wie oben angegeben zu erden. Die Zuleitungen zum Empfänger müssen bis an den Erdungsschalter so geführt sein, daß von Starkstromleitungen ein Mindestabstand von 10 cm gewahrt bleibt. Sie sollten nur in Ausnahmefällen, für die besondere Bestimmungen gelten, durch Schornsteine oder Luftschächte geführt werden. Alle Außenantennen müssen in der Nähe der Gebäudeeinführung einen Blitzschutz („Überspannungsschutzgerät") haben, der über eine besondere Erdleitung (3 mm stark, nicht verseilt, kurz und ohne Ecken) geerdet wird. Der Blitzschutz kann aus einer 0,1 mm langen Luft-Funkenstrecke und/oder aus Vakuum- oder Glimmspannungsableiter bestehen.

Auch bei Benutzung von Verkürzungskondensatoren oder Antennenübertragern ist der Blitzschutz Vorschrift. Ferner

muß in der Nähe der Einführung ein Erdungsschalter vorgesehen werden, für den besondere Bestimmungen gelten. Er muß leicht zugänglich sein und bei Betätigung die Antenne vom Empfänger abschalten, um sie zu erden. Bei Schaltern für abgeschirmte Ableitungen muß auch die Abschirmung vom Empfänger getrennt und geerdet werden.

Hinsichtlich des Blitzschutzes sind übrigens Dachbodenantennen wie Außenantennen zu behandeln.

c) Erdung

Abgesehen von den Forderungen der zitierten Vorschriften ist bei den geerdeten Antennen der klassischen Rundfunkwellenbereiche auch aus elektrischen Gründen eine gute Erdung unerläßlich. Die meisten Antennen sind durch ihre Konstruktion oder werden vom Empfänger her so abgestimmt, daß sich dieser für die bevorzugte Empfangsfrequenz möglichst im Strombauch der Antenne befindet. Das ist aber verhältnismäßig nahe an der Erdungsstelle und, da hier die stärksten Ströme fließen, können Energieverluste nur dadurch vermieden werden, daß die Erdleitung selbst und alle in ihr liegenden Verbindungsstellen minimalen Widerstand aufweisen. Gewiß sind wir durch die modernen Empfangsgeräte mit ihrer hohen Empfindlichkeit verwöhnt und verlassen uns oft darauf, daß die Lichtleitung hochfrequenzmäßig als Erde ausreicht. Wenn man aber wirklich die Leistungsfähigkeit eines Gerätes voll ausnutzen will, gehört zu einer guten Antenne auch eine gute Erde.

Praktisch benutzt man gern als Erder vorhandene Blitzableiter oder Wasserleitungen und zwar so, daß die Anschlußstelle dicht über dem Boden liegt. Manche Wasserleitungen und alle Regenrinnensysteme eignen sich jedoch wenig als einwandfreie Erde, wenn sie noch über dem Boden oder kurz nach ihrer Einführung in diesen in Tonröhren weiterlaufen. Auch Kabelmäntel von Fernsprechleitungen sind keine für uns geeignete Erdung, ganz abgesehen davon, daß ihre Verwendung für diesen Zweck oder auch zu Behelfsantennen verboten ist.

Falls man also eine Erde neu anlegen muß, vergrabe man einen größeren Metallgegenstand, z. B. einen koksgefüllten, durchlöcherten Eimer, mindestens 1,50 Meter tief — besser aber in Grundwassertiefe — mit gut verlötetem und lackiertem Anschluß des Erdungsdrahtes.

In den Ausnahmefällen, in denen der Anschluß an die Erde eine Erhöhung des Störpegels mit sich bringt, aber aus niederfrequenzmäßigen Gründen nötig ist, legt man eine Hochfrequenzdrossel in die Erdleitung. Kann auch auf die Niederfrequenzerdung verzichtet werden, so verwendet man in solchen Fällen zweckmäßig ein Gegengewicht, wie es in Abschnitt VII besprochen wird.

d) Formeln für den praktischen Antennenbau

Die Zugbelastung einer zwischen zwei Stützen ausgespannten Antenne beträgt:

$$P = \frac{G \cdot a}{8 \cdot d} + S \text{ [kg]} \qquad (31)$$

P = Zuglast in kg
G = Gewicht der Antenne je Meter
d = Durchhang in Meter
a = Spannweite in Meter

S ist die Schneelast = $180 \sqrt{\text{Drahtdurchmesser.}}$

In Gegenden mit Vereisungsgefahr für die Antenne ist bei Eisansatz mit Werten bis zu 1 kg Zusatzlast je Meter zu rechnen. Das verwendete Drahtmaterial muß aus Gründen der Sicherheit eine mindestens dreimal höhere Zugfestigkeit aufweisen. Bei Masten und Stabantennen ist außerdem der Winddruck zu berücksichtigen, der von der vom Wind getroffenen Fläche abhängig ist. Der kleinste Durchmesser D_{min} zugentlasteter Stützmasten beträgt erfahrungsgemäß:

$$D_{min} = 0{,}65\ H + W \text{ [cm]} \qquad (32),$$

worin H die Masthöhe (m) und W der Winddruckwert nach beistehender Tabelle [8] ist:

Spannweiten in (m)						Winddruckwert
6	10	15	20	40	60	
2						1,1
4	2,4	1,6				1,6
8	4,8	3,2	2,4			2,2
12	7,2	4,8	3,6	1,8		2,7
	12	8	6	3	2	3,5
		12	9	4,5	3	4,3
			12	6	4	5,0
				12	8	7,0
					12	8,6
Drahtdurchmesser in mm						

Mitunter interessiert auch die Kapazität einer eindrähtigen Antennenableitung gegen die Haus- oder Zimmerwand:

a/d =	2,5	5	12,5	25	50	125
C (pF) je m	24,5	16,6	14,25	12	10,5	9

a = Abstand von der Wand [mm]
d = Durchmesser des Ableitungsdrahtes [mm].

e) Gemeinschaftsantennenanlagen

Obgleich heute das Recht eines Mieters auf die Hochantenne gesichert ist, empfiehlt es sich, bei Neubauten Gemeinschaftsanlagen vorzusehen. Abgesehen von dem architektonischen Vorteil, daß der besonders bei großen Miethäusern übliche Antennenwald fortfällt, hat eine solche Anlage folgende Vorzüge:

1. Die Antennenenergie kann durch einen — bei Allwellenantennen zwei — Vorverstärker soweit verstärkt werden, daß die Teilnehmer auch mit verhältnismäßig einfachen Geräten brauchbaren Fernempfang erhalten.
2. Bei sachgemäßer Montage und einwandfreien, von Spezialfirmen fertig bezogenen Teilen entfällt jede gegenseitige Beeinflussung der angeschlossenen Empfänger, wie sie sonst über verkoppelte Antennen so leicht möglich ist.

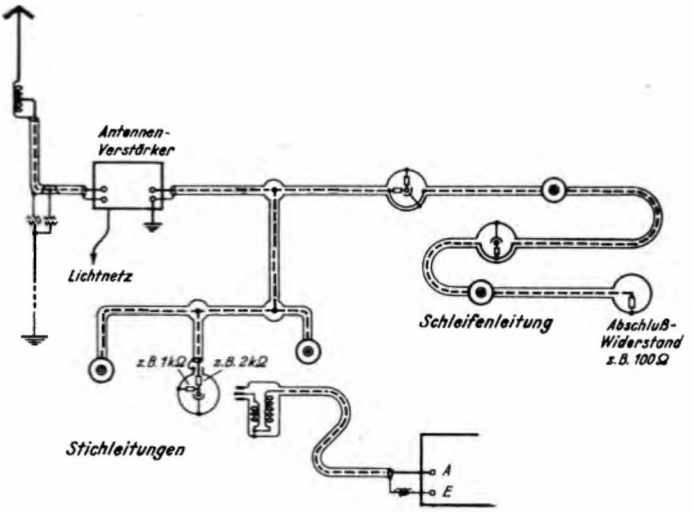


Bild 27. Gemeinschaftsantennenanlage. Bei UKW-Anlagen richten sich Abschluß- und Entkopplungswiderstände nach dem Wellenwiderstand des Leitersystems

3. Die umgelegten Kosten sind gerade bei großen Teilnehmerzahlen kleiner als die einer entsprechenden Zahl getrennter Antennenanlagen.
4. Durch abgeschirmte Ausführung wird eine weitgehende Störungsfreiheit gesichert. Anpassungsübertrager halten in diesem Fall die Verluste klein.

Ein Beispiel für eine Gemeinschaftsantenne zeigt **Bild 27.** Auch für diese Anlagen gibt es besondere Vorschriften. VDE 0856 enthält u. a. dem Sinne nach folgende wichtigsten Leitsätze:

Das Nutz- zu Störspannungsverhältnis soll möglichst hoch (100:1) sein. Das wird durch Symmetrierung oder Abschirmung erreicht. (Man bevorzugt die Abschirmung, weil sie leichter durchführbar ist als Symmetrierung.)

Das Verhältnis der beim Empfängeranschluß an 2,5 kOhm gemessenen Nutzspannung zur Nutzfeldstärke am Ort der

Antenne soll mindestens 0,5 Meter betragen. Daneben soll die Nutzspannung an allen Anschlußstellen mindestens 1 mV betragen.

Der Kopplungswiderstand (ein Maß für die Güte der Abschirmung) darf bei den Leitungen 100 mΩ/m nicht überschreiten, während er bei den Bauteilen im Leitungszug (Schleifen) je nach Frequenz zwischen 20 mΩ (bei 160 kHz) und 200 mΩ (bei 1400 kHz), und bei Bauteilen in Stichleitungen den zehnfachen Wert haben darf.

Die Antennenverstärker müssen für Dauerbetrieb geeignet und netzverdrosselt sein. Sie müssen neben anderen Vorschriften auch denen für Rundfunkgeräte (VDE 0860) entsprechen. Gegen besonders starke Sender sind einstellbare Filter (Sperrkreise) zweckmäßig.

Mechanisch muß die Anlage den schon besprochenen Vorschriften von VDE 0855 genügen, aus denen noch folgende Bestimmungen erwähnenswert sind:

Korbantennen, Kugelantennen und ähnliche Antennenformen sollen vermieden werden.

Außer dem Blitzschutz muß an der ersten Einführungsstelle noch eine Schutzfunkenstrecke von 1 cm² Fläche bei 0,3 mm Luftstrecke vorgesehen werden (Bild 29), wenn die Funkenstrecke des Blitzschutzes nicht schon eine Fläche von 1 cm² aufweist.

Bei Gemeinschaftsantennenanlagen, bei denen die Bedienung eines Erdschalters nicht sichergestellt ist, kann dieser weggelassen werden, wenn die Ableitung, der Blitzschutz und die Erdleitung senkrecht in einer Linie angeordnet sind und die Leitung zum Empfänger bzw. Verstärker vom Blitzschutz rechtwinklig auf eine Länge von 1...2 m abgezweigt wird.

Weiter enthält VDE 0856 noch Bestimmungen für die einzelnen Teile der Anlage, so z. B. für Dachrinnenüberführungen, Antennenkabel (DIN VDE 500, 6431, 6450, 0605), Übertrager, Stecker und Dosen (DIN 49 070 und 49 072). Interessant ist, daß § 17 dieser Leitsätze vorschreibt, daß für die Errich-

tung einer Antenne die Stelle größter Störfreiheit mit einer Meßeinrichtung (z. B. Störsuchgerät) zu ermitteln ist.

Auf Dächern und Dachböden darf nicht gelötet werden: hier sind alle Verbindungen durch Schrauben oder Klemmen herzustellen. Bei Neubauten sollen Antennenleitungen unter Putz verlegt werden.

Die Erdung des Antennenleitungsnetzes muß auch gewährleistet sein, wenn der Antennenverstärker ausgebaut wird. Die angeschlossenen Empfangsgeräte dürfen keine eigenen Erdungen haben, sondern sind über die Anlagenerde mittels der vorgeschriebenen Stecker zu erden. Bei genullten Lichtnetzen sind der Verstärker und das Leitungssystem nicht an die Blitzschutzerdung, sondern an den Nulleiter anzuschließen.

Diese letzteren Bestimmungen stehen im Gegensatz zu der hochfrequenztechnischen Forderung, den Kabelmantel aus Gründen der Störungsfreiheit nicht unmittelbar, wenigstens aber nicht an einer hochfrequenzmäßig ungünstigen Stelle zu erden. Bei Einzelanlagen sieht man daher gemäß Bild 29 statt der Blitzerdung immer nur eine Funkenstrecke vor, die für Ströme ein genügend großes Hindernis darstellt.

Die fertige Anlage ist nach der Bauanleitung des Herstellers zu prüfen, u. a.

1. auf Isolation der Gesamtabschirmung gegen Erde,
2. auf einwandfreie Verbindung aller Abschirmungen miteinander,
3. auf den Schleifenwiderstand zwischen Innenleiter und Abschirmung.

Bei der Prüfung der hochfrequenten Eigenschaften ist VDE 0857 anzuwenden.

VII. Störbeeinflussung von Antennen und deren Vermeidung [9]

Man mag eine Antenne noch so hoch und frei aufstellen — immer muß man mit ihrer Ableitung in das Innere eines Hauses, das meistens mit einem Gewirr von Eisenträgern,

von Gas-, Wasser- und Heizungsrohren, von Lichtnetz- und Fernmeldeleitungen durchzogen ist. Alle diese metallischen Gebilde aber können Träger elektrischer Störungen sein und sind es meist auch, Störungen, die von kleinen Funken beim

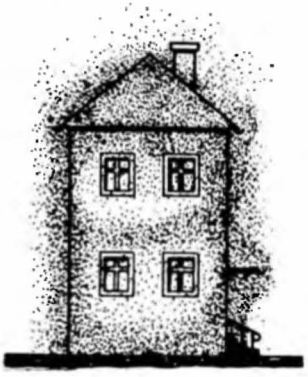


Bild 28.
Störnebel um ein Haus

Betrieb aller möglichen elektrischen Geräte herrühren und meist ein über alle Wellenbereiche streuendes Frequenzspektrum aufweisen. Sie verbreiten im und um das Haus den sogenannten Störnebel **(Bild 28).** Bei geerdeten Blechdächern, die sich in der Antennenliteratur einer liebevollen Berücksichtigung erfreuen — obgleich sie eine Ausnahme darstellen —, fällt der in Bild 28 gezeichnete Störnebelanteil über dem Dach natürlich fort. Um die Störungen nun von der Antennenableitung abzuhalten, schirmt man diese ab. Das hierzu verwendete Abschirmkabel verfügt jedoch über eine beträchtliche Kapazität, die natürlich unerwünscht ist, während (hochohmige) Kabel kleiner Kapazität zu unhandlich und teuer sind. Deshalb und aus Anpassungsgründen (Wellenwiderstand) verwendet man zwischen Antenne und Kabel einerseits, wie Kabel und Empfänger andererseits, gern *Anpassungsübertrager,* welche nach Formel (29) die hochohmigen Antennen- und Empfängereingangswiderstände von einigen Kiloohm an den niederohmigen Wellenwider-

stand dünner Kabel (z. B. 40 Ω) anpassen und gleichzeitig eine Kapazitätstransformation bewirken.

Bild 29 zeigt die Prinzipschaltung einer Anlage mit Anpassungsübertragern, während wir eine mit Übertragern

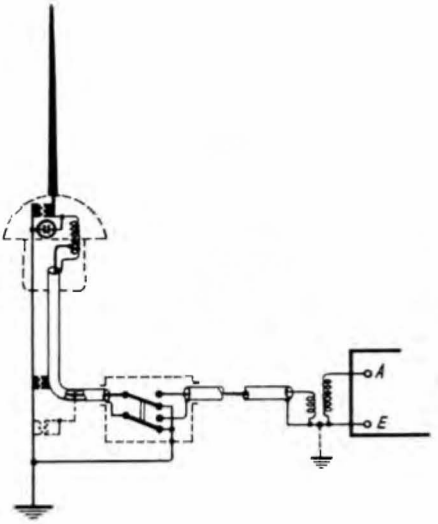


Bild 29. Prinzip einer abgeschirmten Antennenableitung mit Übertragern

aufgebaute Gemeinschaftsantennenanlage bereits in Bild 27 sahen. Berechnung und Selbstbau solcher Übertrager setzen große Erfahrungen voraus — man bezieht sie deshalb besser und billiger von den Firmen, die Bausätze für abgeschirmte Antennenanlagen herstellen. Um bei solchen Anlagen auch einen guten Kurzwellenempfang zu ermöglichen, legt *Siemens* bei ihren Anlagen eine Kurzwellendrossel in die Verbindung zwischen Kabelmantel und Erdungsbuchse des Empfängers. Damit wird erreicht, daß bei Kurzwellenempfang der Kabelmantel über die Kabelkapazität mit als Antenne wirkt.

Die Wirksamkeit der abgeschirmten Ableitung wird zweckmäßig dadurch unterstützt, daß der Netzeingang des Gerätes

verdrosselt und abgeblockt wird, um auch den aus dem Netz selbst kommenden Störungen den Eintritt in den Empfänger zu verwehren.

Auch bei Autoantennen werden abgeschirmte Leitungen zum Empfänger bevorzugt. Hier muß außerdem das Zündleitungsnetz durch Abschirmung der Zündleitungen und Dämpfungswiderstände vor den Zündkerzen entstört werden, um (abgesehen vom Schutz des Empfängers) direkte Störstrahlung auf die Antenne zu vermeiden.

Selbst Rahmenantennen — besonders solche für Peilzwecke — werden gern (statisch) abgeschirmt.

Mitunter zeigt aber selbst eine einwandfreie Abschirmung nicht die gewünschte Wirkung, weil die Erdungsverhältnisse schlecht sind. So können die vorhandenen Erdleitungen selbst störungsverseucht und die Herstellung einer einwandfreien Erdung mit erheblichen Kosten verknüpft sein.

In allen solchen Fällen, in denen die vorhandenen Erden unbrauchbar sind, wendet man ein Gegengewicht an. Dieses besteht aus Drahtleitungen von gleichen bis doppelt so großen Abmessungen wie die Antenne, die gut isoliert in möglichst großem Abstand von der Antenne (für hohe Antennenspannung) und von der Erde (für gute Störbefreiung) angebracht werden. Bei einer Zimmerantenne genügt erfahrungsgemäß ein ringsherum an die Scheuerleiste genagelter isolierter Draht als Gegengewicht, während man bei Hochantennen mit abgeschirmter Ableitung auch den Kabelmantel dafür benutzen kann. Läßt man den Erdanschluß frei, so wirkt bei Wechselstromgeräten auch das Chassis als — allerdings recht kleines — Gegengewicht.

Wo die Störungen einwandfrei nur von der Antenne aufgenommen werden, helfen mitunter Kompensationsschaltungen wie z. B. die vor dem Kriege viel verwendete Görler-Antenne.

Vor kurzem kamen neue Antennen mit Störkompensation (Bild 21 und 30) auf den Markt, die im Gegensatz zur Görler-Antenne die Symmetrierung bereits am Antennen-

mast, also noch vor der Speiseleitung, vornehmen und daher am Empfänger ebenfalls einen symmetrischen Übertrager vorsehen. Dieser Übertrager wird in einige Blaupunkt-Superhets bereits fest eingebaut.

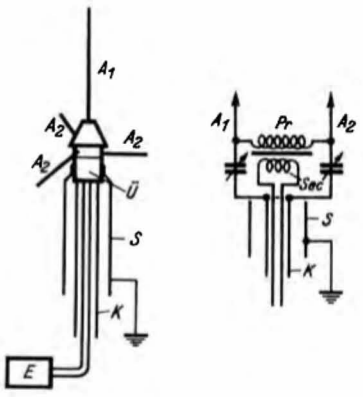


Bild 30. Eine störkompensierte Antenne (Blaupunkt AT 49)
links: Gesamtanordnung
rechts: Übertrager- und Kompensationsschaltung (im Antennenkopf)

Das Prinzip der Antenne AT 49 geht aus **Bild 30** hervor. Das geerdete Standrohr S trägt die eigentliche Antenne A_1 und die zur Kompensation von Nahfeldstörungen dienenden Kompensationsantennen A_2 und enthält außer dem Blitzschutz einen Spezialübertrager Ü, der elektrisch sorgfältig symmetriert ist. Da auch das Hf-Kabel zum Empfänger zweiadrig und daher symmetrisch ist, heben sich etwa in das Kabel einstreuende Störspannungen auf. Außerdem führt der Kabelmantel im Gegensatz zu einadrigen, unsymmetrischen Systemen keinen hochfrequenten Rückstrom, so daß durch Störer verursachte Mantelströme nicht in den Empfänger gelangen können. Der Antennenübertrager hat durch Verwendung eines neuen, sehr verlustarmen Hf-Eisens und durch Spezialwicklung einen überdurchschnittlich hohen Wirkungsgrad, woraus im Zusammenhang mit der richtigen

Antennenanpassung entsprechend hohe Nutzspannungen resultieren.

Bei den Nachfolgetypen AT 50 und AT 70 sind die Hilfsantennen A_2 durch eine Ausgleichskapazität ersetzt (vgl. Unterschrift zu Bild 21).

VIII. Literaturverzeichnis

a) Im Text angezogene Literatur:

[1] Siehe z. B. Meinke, Das Elektron **1948**, 220, ferner: Elektrotechnik **1949**, 29, 176.

[2] Vilbig, Lehrbuch der Hochfrequenztechnik (1942), Bd. I, 461.

[3] Funktechnische Arbeitsblätter, Sk 81 (Franzis-Verlag, München).

[4] L'onde électrique, Dec. **1946**, 387. Zinke, Funk und Ton **1948**, 435. Wireleß Engineer, August **1948**. Mallach, FTZ. **1949**, H. 2, 33. Funktechnik **1948**, 438, 601. FUNKSCHAU **1948**, 48. ETZ. **1948**, 133.

[5] Schlayer, Telefunken Mitteilungen 21/1940, **Nr. 83**, 35.

[6] Carson, Proc. I. R. E. 17/**1929**, 952.

[7] Fränz, Telefunken Mitteilungen 21/1940, **Nr. 83**, 54.

[8] Bergtold, Antennenbuch, München 1936.

[9] Bergtold, Div. Arbeiten in Funktechn. Vorwärts, **7.** Jahrgang. Hormuth, Frequenz **1949**, 61 ff.

[10] Yourn. Appl. Phys. 19/**1948**, 87 und 193. Proc. IRE. 37/**1949**, 263, ref. in Frequenz **1949**, 251. Communications 29/**1949**, 6, 34, 35, ref. in Das Elektron **1950**, 69. Electronics, Febr. 1950, 72, CQ 1949, 214.

[11] Frequenz **1948**, 202. Elektrotechnik **1949**, 175.

b) Sonstige empfehlenswerte Literatur über Antennen:

1. Brückmann, Antennen, ihre Theorie und Technik, Leipzig 1939.
2. Wigand, Wie baue ich meine Antenne? Lehrmeister-Bücherei Nr. 1147/48.
3. Kammerloher, Hochfrequenztechnik I.
4. Radio Engineers' Handbook, New York 1943.
5. Kartei für Funktechnik, L 1, München 1943.
6. Kollak-Wehde, Kurzwellen-Antennen, Weidmann, Berlin.
7. Reference Data for Radio Engineers, 3d Ed., 362 ff. u. 435 ff.

Ferner die zahlreichen Arbeiten in bekannten Fachzeitschriften.

c) Vorschriften (aus dem VDE-Verlag GmbH., Wuppertal-Elberfeld):

VDE 0855/I. 44.	Vorschriften für Antennenanlagen.
VDE 0856/X. 42	Leitsätze für Gemeinschaftsantennenanlagen.
VDE 0857	Leitsätze für die Messung der elektrischen Eigenschaften von Antennenanlagen.
VDE 0860/VIII. 43.	Vorschriften für Rundfunk- und verwandte Geräte.

d) Normen (aus dem Beuth-Vertrieb, Berlin W 15 und Köln):

DIN 57855 (Ersatz für VDE 0855/I. 44.

DIN VDE 1522 Steckvorrichtung für Antenne und Erde.

Ferner die Blitzableiternormen DIN VDE 1802 bis 1851 und DIN 1982

RADIO-PRAKTIKER-BÜCHEREI

Die U-Röhren-Reihe mit Außenkontaktsockel und ihre Schaltungen. Von H. Sutaner. Mit 50 Bildern und Schaltungen. **2. Aufl.** **Nr. 1**

Rimlock- und Picoröhren und ihre Schaltungen. **Nr. 2**
Von Dr. A. Renardy. Mit 51 Bildern und Schaltungen. **1. u. 2. Aufl.**

UKW-FM-Rundfunk in Theorie und Praxis. Von H. G. Mende.
Mit 35 Bildern und 4 Tabellen. **2. Aufl.** **Nr. 3**

UKW-Empfang mit Zusatzgeräten. Von H. G Mende. **Nr. 4**
Mit 16 Bildern und 9 Tabellen. **2. Aufl.**

Superhets für UKW-FM-Empfang. Von H. G. Mende. **Nr. 5**
Mit 21 Bildern und 1 Tabelle. **1. und 2. Aufl.**

Antennen für Rundfunk- und UKW-Empfang. Von H. G. Mende.
Mit 30 Bildern und 7 Tabellen. **4. und 5. Aufl.** **Nr. 6**

Neuzeitliche Schallfolienaufnahme. Von Ing. F. Kühne. **Nr. 7**
mit 39 Bildern. **2. Aufl.**

Vielseitige Verstärkergeräte für Tonaufnahme und Wiedergabe. **Nr. 8**
Von Ing. F. Kühne. Mit 36 Bildern. **2. Aufl.**

Magnetbandspieler-Praxis. Von Ing. W. Junghans. **Nr. 9**
Mit 36 Bildern und 3 Tabellen. **2. Aufl.**

Magnetbandspieler-Selbstbau. Von Ing. W. Junghans. **Nr. 10/10a**
Mit 100 Bildern. **Doppelband. 1. und 2. Aufl.**

Mikrofone, Aufbau, Verwendung und Selbstbau. Von F. Kühne.
Mit 38 Bildern und 2 Tabellen. **2. Aufl.** **Nr. 11**

Röhrenmeßgeräte in Entwurf und Aufbau. Erscheint 1952/53. **Nr. 12**

Schliche und Kniffe für Radiopraktiker. Von F. Kühne. **Nr. 13**
Mit 57 Bildern. **2. Aufl.**

Geheimnisse der Wellenlängen. Von G. Büscher. **Nr. 14**
Mit vielen Bildern. **Erscheint 1952.**

Moderne Zweikreisempfänger. Von H. Sutaner. **Nr. 15**
Mit 43 Bildern und Schaltungen. **2. Aufl.**

Widerstandskunde für Radiopraktiker. **Nr. 16**
Von Dipl.-Ing. G. Hoffmeister. Mit 9 Bildern, 4 Nomogrammen und 6 großen Zahlentafeln. **2. Aufl.**

Prüfsender für UKW-Empfänger. Selbstbau und Selbsteichung. **Nr. 17**
Von Dipl.-Ing. R. Schiffel und Ing. F. Woletz.
UKW-Meßgeräte Teil 1. Mit 57 Bildern. **2. Aufl.** Teil 2 s. Nr. 36.

Radio-Röhren. Von H. G. Mende. **Nr. 18/19**
Mit 65 Bildern. **Doppelband. 2. Aufl.**

Methodische Fehlersuche in Rundfunkempfängern. **Nr. 20**
Von Dr. A. Renardy. Mit 16 Bildern. **2. Aufl.**

Funktechniker lernen Formelrechnen auf kurzweilige, launige Art.
Von F. Kunze. Band I. Mit 22 Bildern. **2. Aufl.** Band II s. Nr. 42. **Nr. 21**

Lehrgang Radiotechnik Teil I. Von F. Jacobs. **Nr. 22/23**
Mit 132 Bildern und 3 Tabellen. **Doppelband. 2. Aufl.**

Lehrgang Radiotechnik Teil II. Von F. Jacobs. **Nr. 24/25**
Mit 84 Bildern. **Doppelband. Erscheint 1952.**

Tonstudio-Praxis. Von F. Kühne. Mit 36 Bildern und 6 Tabellen. **Nr. 26**

Rundfunkempfang ohne Röhren. Von H. G. Mende. **Nr. 27**
Mit 36 Bildern und 5 Tabellen. **2. und 3. Aufl.**

Die Glimmröhre und ihre Schaltungen. Von O. P. Herrnkind.
Mit 69 Bildern. **2. Aufl.** **Nr. 28**

Kleines ABC der Elektroakustik. Von G. Büscher. **Nr. 29/30**
Mit 120 Bildern. **Doppelband.**

Sender-Baubuch für Kurzwellen-Amateure. **Nr. 31/32**
Von Ing. H. F. Steinhauser.
Mit 56 Bildern. **Doppelband. 2. und 3. Aufl.**

Röhrenvoltmeter. Von Ing. O. Limann. Mit 60 Bildern. **Nr. 33**

Einzelteilprüfung. Von Ing. O. Limann. **Nr. 34**
Mit 42 Bildern und 3 Tabellen. **2. Aufl.**

Wegbereiter der Funktechnik. Von W. Möbus. **Nr. 35**

Die Prüfung des Zwischenfrequenz-Verstärkers und Diskriminators beim UKW-Empfänger. UKW-Meßgeräte Teil 2. **Nr. 36**
Von Dipl.-Ing. R. Schiffel und Ing. F. Woletz. Mit 50 Bildern.

Fehlersuche durch Signalverfolgung und Signalzuführung. **Nr. 37/38**
Von Dr. A. Renardy. Mit ca. 50 Bildern und 1 Tabelle.
Doppelband. Erscheint 1952.

Die Fernsehröhren und ihre Schaltungen. Von Ing. L. Ratheiser.
Doppelband. Erscheint 1952. **Nr. 39/40**

Kurzwellenempfänger für Amateure. Von W. Diefenbach.
Mit 55 Bildern und Schaltungen. **1. und 2. Aufl.** **Nr. 41**

Funktechniker lernen Formelrechnen. Band II. Von F. Kunze.
1. und 2. Aufl. **Erscheint 1952.** **Nr. 42**

Musikübertragungsanlagen. Von F. Kühne. Mit 34 Bildern und 11 Tabellen. **Nr. 43**

Kurzwellen-Antennen für Sendung u. Empfang. Von W. Diefenbach. Mit 76 Bildern und Tabellen. **Erscheint 1952.** **Nr. 44**

UKW-Sender- und Empfänger-Baubuch. Von H. F. Steinhauser.
Mit 73 Bildern. **Doppelband. Erscheint 1952.** **Nr. 45/46**

Moderne Reiseempfänger, Planung, Schaltung und Bau **Nr. 47**
Von H. Sutaner. Mit 52 Bildern. **Erscheint 1952.**

Kleines Praktikum der Gegenkopplung. Von H. G. Mende. **Nr. 48**
Mit 33 Bildern und 4 Tabellen. **Erscheint 1952.**

Zu beziehen durch jede Buch- oder Fachhandlung oder direkt vom

FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN